



INSTITUTO DE AGRIMENSURA - FACULTAD DE INGENIERÍA – UDELAR

ENERO 2019



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrimensor

UTILIDADES DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS MEDIANTE  
SENSORES PORTADOS EN VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS  
EN EL PROCESO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN URUGUAY

AUTOR: MARTINA CASADEI TAJAM

TUTOR: MSc. Ing. Agrim. Rosario Casanova

Montevideo, Uruguay

2019

PÁGINA DE APROBACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título:

UTILIDADES DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS MEDIANTE  
SENSORES PORTADOS EN VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS  
EN EL PROCESO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN URUGUAY

Autor:

Martina Casadei Tajam

Tutor:

MSc. Ing. Agrim. Rosario Casanova

Carrera:

Ingeniería en Agrimensura

Puntaje:

Tribunal:

Profesor .....

Profesor .....

Profesor .....

Fecha:

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN .....	i
TABLA DE CONTENIDO .....	ii
RESUMEN .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	iv
CAPITULO 1 .....	- 1 -
1.1.- Agricultura de Precisión en la región y en Uruguay .....	- 8 -
1.2.- Insumos y productos necesarios para la AP .....	- 13 -
CAPITULO 2 .....	- 22 -
2.1.- Clasificación de los UAV .....	- 25 -
2.2.- Sensores remotos portados en UAV .....	- 30 -
CAPITULO 3 .....	- 38 -
CAPITULO 4 .....	- 62 -
4.1 - Ventajas Vs. Desventajas en el uso de UAV´s para AP .....	- 62 -
4.2 - Utilidad de los productos generados por UAV en las distintas etapas de AP .....	- 64 -
4.3 – Metodología Propuesta .....	- 77 -
CONCLUSIONES .....	- 81 -
BIBLIOGRAFÍA .....	- 86 -

---

## RESUMEN

El presente proyecto propone una metodología de trabajo del proceso de la Agricultura de Precisión a través de productos obtenidos mediante sensores portados en UAV y herramientas geomáticas. Se realizó mediante un análisis de las etapas de la AP y las variables necesarias para su proceso, así el estudio las prestaciones de los sensores portados en UAV, realizando una revisión bibliográfica de trabajos específicos en la materia y de empresas dedicadas a la AP tanto en Uruguay como en la región.

## PALABRAS CLAVES

Vehículos Aéreos no tripulados, Agricultura de Precisión, Teledetección, Sensores Remotos.

---

## INTRODUCCIÓN

### OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de utilidad de los productos procedentes de sensores portados en Vehículos Aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicles: UAV) para optimizar el proceso de Agricultura de Precisión (Precision Agriculture) en Uruguay.

Se pretende determinar la utilidad de estos productos y analizar si contribuyen a mejorar el proceso de Agricultura de Precisión, así como elaborar una propuesta metodológica basada en el uso de UAV para lograr minimizar las técnicas directas de campo.

### JUSTIFICACIÓN

El tema de estudio surge del interés por la Agricultura y la Geomática, y por el afán de lograr una buena combinación entre ambas buscando dar conocimiento de sus aplicaciones para un desarrollo sostenible de la Agricultura en nuestro país.

#### Estructura:

El presente trabajo se divide en tres partes:

---

La primera, abarca el estado del Arte de la Agricultura de Precisión y su utilización en Uruguay y la Región; la segunda aborda el uso de Vehículos Aéreos no tripulados y los sensores que se utilizan; y por último se analiza si los productos obtenidos con UAV son insumos útiles para mejorar las diferentes etapas de la AP.

## CAPITULO 1

### AGRICULTURA DE PRECISIÓN

A causa de la demanda de la sociedad por el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas que optimicen los recursos y generen una nueva agricultura más sustentable, nace la Agricultura de Precisión (AP). Tiene sus primeras apariciones a principios de la década de los 90 en los Estados Unidos, llegando a América del Sur alrededor de 1995 de la mano del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) en Argentina. Siendo esta la pionera en el tema a nivel regional, y también quien lidera y cuenta con un desarrollo significativo de empresas locales que brindan servicios y equipamientos. En nuestro país la AP se empezó a implementar en el año 2002, y fue el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) con el Programa de Arroz quien realizó los primeros trabajos para investigar la variabilidad de rendimiento dentro de la chacra de arroz.

Actualmente, las técnicas de agricultura predominantes en Uruguay se basan en un manejo uniforme del recurso suelo, manejo que llamamos Agricultura Convencional. Por tanto, definimos a la Agricultura Convencional como un sistema de producción en el que no se tiene en cuenta la variabilidad espacial de los factores involucrados en el manejo del cultivo. Es decir, los insumos, como por ejemplo los fertilizantes, se aplican de forma uniforme en toda la superficie de trabajo, prestando escasa o nula atención al manejo localizado y la conservación y eficiencia en el uso de

los recursos naturales, lo que no solo genera un aumento del deterioro ambiental sino la imposibilidad de mejorar los rendimientos de los cultivos.

Como contrapartida a la Agricultura Convencional surge la Agricultura de Precisión; su gran diferencia radica en el manejo del suelo. Para la primera se trata al suelo como un todo homogéneo y para la Agricultura de Precisión se lo considera con zonas diferenciadas según su especificidad.

Para Iván Colmenares y Juan Camilo Rebage<sup>1</sup> se está ante un avance tecnológico que se compara con el comienzo del uso de tractores y maquinaria en el ámbito agrícola en sustitución del manejo con animales domésticos, catalogando así a la Agricultura de Precisión como una nueva revolución tecnológica.

Algunos autores definen que: *“La Agricultura de precisión no es ni más ni menos que la consecuencia de la irrupción de las TIC en la agricultura, es decir, la manifestación de la era digital en la Producción Agraria”* (Agüera Vega y Pérez Ruiz, 2013); *“La AP se define como una técnica de gestión de parcelas agrícolas que incorpora la variabilidad espacial de los factores implicados en el rendimiento de los cultivos, realizando aplicaciones dirigidas o localizadas y en la dosis óptima de los insumos necesarios (semillas, riego, fertilizantes y fitosanitarios). Esta técnica permite reducir costes, optimizar la producción agrícola, aumentar la rentabilidad para los productores y obtener beneficios ecológicos y*

---

<sup>1</sup>Gerentes y Asesores de ClickPalm Colombia - [www.clickpalm.com](http://www.clickpalm.com)

*ambientales.*” (Robert, 2002; Srinivasan, 2006).

En otras palabras, para realizar un correcto manejo del suelo y los cultivos con la AP, se debe tener una heterogeneidad de rendimientos en el campo y un conocimiento científico – tecnológico. Esto nos permitirá utilizar la información generada por la variabilidad para un correcto manejo, logrando así un beneficio económico, productivo y/o ambiental.



Imagen 1: Agricultura de Precisión (Fuente: [www.agroecologiatornos.com](http://www.agroecologiatornos.com))

Una de las finalidades de la Agricultura de Precisión es la de mejorar el suelo o administrar un cultivo, realizando un abordaje desde diversos puntos de vista: agronómico, ambiental y económico. En el aspecto agronómico, existe un cambio en la toma de decisiones vinculadas directamente con las necesidades reales del cultivo. En el aspecto

ambiental, se logra una notoria reducción de los impactos en el ambiente, por ejemplo: dar una mejor estimación de las necesidades de nitrógeno en el suelo, lo que implicará menos nitrógeno liberado en el ambiente. En el aspecto económico, se produce una importante reducción de insumos e incremento en la eficiencia. Adicionalmente, se resalta la necesidad de generar una historia del campo y los cultivos, que sirve como base para las futuras tomas de decisiones.

La Agricultura de Precisión tiene como fundamento desde el punto de vista agronómico que cada zona del campo puede trabajarse en función de sus características y por tanto se tomen decisiones sobre las tareas a realizar, conociendo exactamente dónde y que parámetros son los que estarán influyendo en la producción de esa zona.

En lo que refiere a las diferentes etapas en la AP, la Dr. Francisca López Granados (2013), del Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España considera que la gestión localizada de un cultivo está definida en cuatro etapas: Monitorización, Planificación, Actuación y Evaluación.

- **Monitorización:** consiste en la detección y mapeo de las variables del suelo y/o del cultivo.
- **Planificación:** es la fase de toma de decisiones, en esta etapa se determina qué insumos aplicar en el suelo, cómo, cuándo y dónde.
- **Actuación:** es la ejecución del manejo que se haya decidido en la etapa

anterior.

- **Evaluación:** en esta etapa se realiza el análisis tanto de las operaciones en sí como de la rentabilidad del proceso, ya sea económica y/o medioambiental. Es la que termina el ciclo, pero da el pie para el comienzo de uno nuevo, dejando un historial del campo para el periodo siguiente.

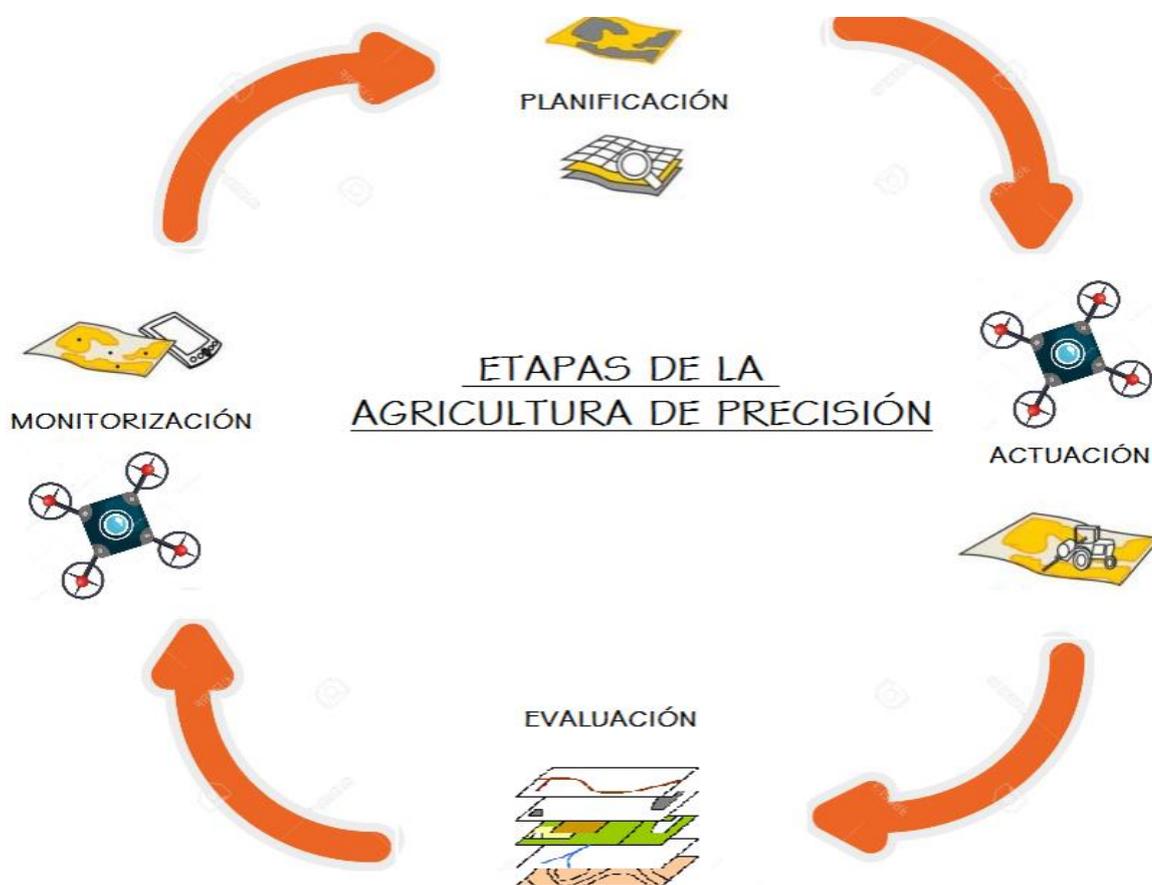


Imagen 2: Proceso de AP (Fuente: creación propia)

Por tanto, se puede definir a la Agricultura de Precisión como un sistema de producción que incorpora diversas tecnologías (Posicionamiento Satelital, Teledetección, SIG, técnicas de aplicaciones de tasa variable, etc.) para poder optimizar el rendimiento y uso del factor suelo, de manera de aprovechar al máximo las condiciones que este presenta y trabajando de manera diferenciada cada zona, para lograr aplicar la cantidad correcta de insumos (fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, etc.), en el momento adecuado y en el lugar exacto.

El desarrollo de la Agricultura de Precisión se ha logrado gracias a la emergencia de tecnologías como el GNSS, SIG, Teledetección y equipamiento especializado como: Monitores de Rendimiento, Técnicas VRA, Maquinaria, etc.

- *Sistemas globales de navegación por satélites (GNSS):* estos sistemas permiten conocer la ubicación de un objeto o zona que se quiera, por lo que en AP esta tecnología da la posibilidad de ubicar dónde se debe aplicar determinados productos para el cultivo y el suelo, siendo además información necesaria para realizar los mapas del cultivo.
- *La Teledetección – Percepción Remota:* Los métodos de teledetección utilizados en la Agricultura de Precisión, para recoger la información necesaria, son generalmente los usados con sensores remotos colocados en satélites, aviones tripulados y UAV. Se utilizan diferentes sensores según las necesidades del trabajo. Esta técnica permite mediante análisis y clasificación digital, dada la diferencia en el comportamiento

espectral de cada una de las zonas agrícolas, obtener información sobre ellas; permitiendo la discriminación y mapeo de las distintas cubiertas vegetales presentes en dichas zonas. Esto permite conseguir uno de los productos de mayor importancia como lo son los índices de vegetación, que indican el estado de la vegetación. Una ventaja que presenta el uso de esta técnica es la de cubrir grandes superficies de manera rápida y las veces que sea necesario.

- *Los Sistemas de Información Geográfica (SIG):* son software compuestos por módulos de procesamiento y almacenamiento de datos geográficos, y permite realizar un análisis espacial de las necesidades que requiera el trabajo y anexar otro tipo de base de datos útiles, como ser historiales de la zona o datos existentes (MGAP, CONEAT, etc.).

Dentro del equipamiento especializado, están las técnicas de aplicaciones de tasa variable (Variable Rate Aplicacion, VRA), el objetivo de estas es el de utilizar insumos de manera racional, tomando los datos depurados y estudiados que nos brinda el SIG. Se realiza un mapa de tratamiento que determina para cada punto de la zona de estudio la cantidad de insumo a utilizar, esta información se carga en el equipo de la maquinaria, que cuenta con un dispositivo GPS, y mediante un programa específico se establecen las acciones a realizar, dónde, qué y cuánto producto poner en cada lugar de la chacra. Por otra parte, los Monitores de Rendimiento son una representación espacial de datos de rendimiento registrados durante la cosecha de un cultivo, estos poseen una serie de sensores que se integran a las cosechadoras permitiendo medir y grabar el

rendimiento y la humedad del grano a medida que se realiza la cosecha del cultivo. Si a esta técnica se le agrega la del GNSS, se obtienen estos datos georreferenciados, logrando así mapas que muestran la variabilidad espacial de los rendimientos, llamados Mapas de Rendimiento, mapas que permiten evaluar el proceso productivo y sirven de base para la planificación de las estrategias de gestión.

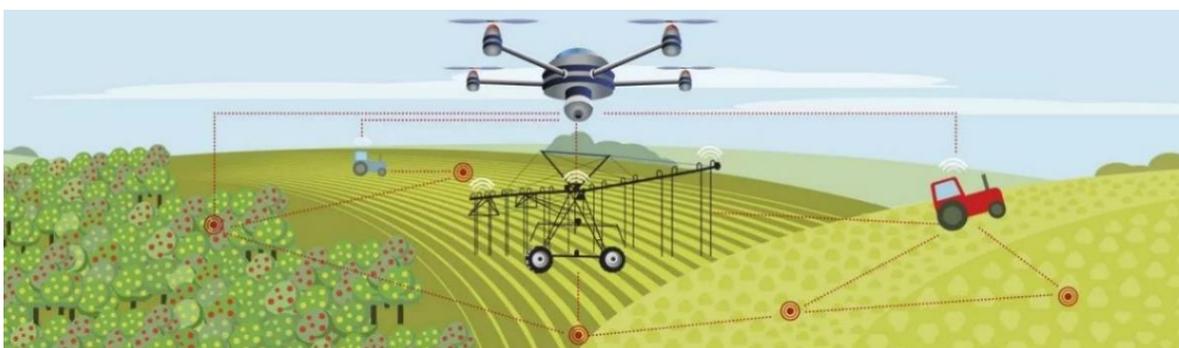


Imagen 3: Tecnologías en la Agricultura de Precisión (Fuente: [www.agtech.com](http://www.agtech.com))

## 1.1.- Agricultura de Precisión en la región y en Uruguay

Como se ha mencionado previamente, en la región los pioneros en introducir las técnicas de Agricultura de Precisión fueron los argentinos, por el año 1995, cuando la primera sembradora inteligente y el primer monitor de rendimiento se pusieron en funcionamiento en la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi del INTA. Desde su comienzo hasta el día de hoy, Argentina ha probado y evaluado todas las herramientas disponibles sobre esta nueva tecnología logrando muy buenos resultados.

El INTA ha logrado organizar, desarrollar y promover la investigación y experimentación, así como adoptar tecnologías de los países líderes a nivel mundial mediante su llamada “Red de Agricultura de Precisión” buscando: aumentar y mejorar la calidad de la producción; la conservación, recuperación y aprovechamiento de los recursos naturales; mejorar la capacidad productiva de pequeños productores; nuevas producciones agropecuarias de especies no tradicionales; así como también el desarrollo de insumos tecnológicos. Los productores argentinos en su mayoría tienen adoptadas algunas de las tecnologías que incluye la Agricultura de Precisión y han aprendido a utilizar las herramientas que brinda para la toma de decisiones. Teniendo una demanda de información que sigue siendo constante, y que se refleja en la gran y creciente convocatoria que tienen los eventos de capacitación que lleva a cabo anualmente el INTA Manfredi. Otro indicador del creciente interés en los productores de esta tecnología es el uso de sus herramientas. Según un informe realizado por

el INTA, al 2011 en el 99% de la superficie cultivable del país se utilizaba el 95% del total de las pulverizadoras<sup>2</sup> que existían en él, las cuales contaban con banderillero satelital<sup>3</sup>; así como también al 2013 un 25% de la superficie sembrable era trabajada con maquinaria equipada con sistema de dosificación variable.

Si bien Brasil introdujo la tecnología de la AP también a mediados de los años 90, y hubo algunos intentos desde la Academia de motivar su uso, como por ejemplo la Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz” de la Universidad de San Pablo organizó el primer Simposio en el tema en el año 1996, el desarrollo de la tecnología fue más lento, y recién en el año 2000 se logró una mayor expansión debido a los avances en la tecnología electrónica y el uso de los GNSS. Brasil creó de mano de la EMBRAPA (Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria), una red de investigación, con 15 áreas experimentales distribuidas en todo el país y cubriendo diferentes cultivos anuales y perennes, contribuyendo considerablemente con el desarrollo de la AP. Si bien la creación de esta red ayudó a potenciar los estudios y aprovechar estas nuevas tecnologías de una forma útil y racional, varios autores concuerdan que la AP en Brasil ocurre lentamente y de manera desigual. Se estima que en el año 2015 ni siquiera el 5% de la superficie plantada utilizaba herramientas de esta tecnología, y como justificación a estas afirmaciones se basan en la influencia de los bajos costos de las tierras, de la mano de obra, la gran distancia de los

---

<sup>2</sup>Ver glosario

<sup>3</sup>Ver glosario

productores con los centros de investigación, y la necesidad de la importación de equipos de alta tecnología que tienen un alto valor. EMBRAPA, además, coordina el Sistema Nacional para la Investigación en Agricultura (SNPA por sus siglas en portugués), que reúne las instituciones públicas a nivel federal y estatal, universidades, empresas y fundaciones privadas que en conjunto llevan a cabo investigaciones en las distintas áreas prioritarias. Recientemente el Departamento de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad de Sao Paulo ha puesto en marcha un portal global sobre AP del país que realiza eventos y proporciona herramientas de aplicación. Sin embargo, en rasgos generales la tecnología de AP en Brasil es joven, y hay mucho espacio para nuevas oportunidades y desarrollo.

Chile por su parte, incorporó esta nueva tecnología también a mediados de los años noventa, pero enfocada principalmente a la fruticultura y vitivinicultura, demorando algunos años para entrar en el terreno de los cultivos industriales y cereales. Alrededor del 2010, la AP vivió un boom a nivel mundial, pero como ocurre con muchas nuevas tecnologías, no todos los usuarios pudieron adaptarse a ella, como fue el caso de Chile, por lo que varios productores que habían optado por el camino de la AP decidieron retornar a la Agricultura tradicional. Según el director Nacional de Agricultura de Precisión del INIA Chile, Stanley Best (2016): *“En los últimos 5 años se estancó el tema porque salieron muchos sensores y el productor no vio el beneficio, pero en el último año hubo un reimpulso ya que las empresas están más orientadas al servicio y a que el productor vea resultados”*. El INIA Chile, también creó un programa con el

fin de enfatizar en el uso de esta tecnología y brindar herramientas de decisión a los productores, a través de su centro experimental Quilampu, llamándolo PROGAP INIA. También se creó una Red Nacional de Viticultura de Precisión por parte de la Universidad de Talca en conjunto con la Pontificia Universidad Católica de Chile y con el apoyo de empresas y viñedos, a través de esta red se logró reducir significativamente el uso del recurso hídrico y de los insumos productivos que se requieren para los rubros en lo que se realizaron investigaciones, como manzanos y olivos. Stanley Best, concluye que el país tiene buenas condiciones para desarrollar esta tecnología y hasta lograr exportar conocimiento, y prevé que para el 2021, se podrían lograr óptimos resultados.

En nuestro país, como se mencionó anteriormente, esta tecnología llegó de mano del INIA para la zafra 2002-03 del programa de Arroz, donde se iniciaron los trabajos en la unidad INIA Treinta y Tres en una chacra de 12 hectáreas, y el proyecto contó con apoyo financiero y técnico del IRI<sup>4</sup>, donde se incorporaron estas nuevas tecnologías al país y se buscó desarrollar nuevas capacidades tecnológicas tendientes a consolidar una agricultura sustentable, también logró una gran adopción de tecnologías y de técnicos de Argentina, ya que estos cuentan con un mercado más grande y con más experiencia.

El INIA ha llevado adelante proyectos de AP que acompañan las

---

<sup>4</sup>Sigla en inglés del Instituto de Investigación para la predicción climática, Nueva York, EEUU

exigencias del mercado con el fin de obtener productos de alta calidad y que sean producidos de forma amigable con el ambiente. Desde el INIA se considera que Uruguay cuenta con un fácil acceso a las tecnologías de vanguardia y posee instituciones con profesionales y capacidades suficientes para abordar las problemáticas que surgen en el tema.

Según el Licenciado Ricardo Martínez Peck<sup>5</sup> en cuanto a la potencialidad del uso de manejo por ambientes y la siembra y fertilización variable en Uruguay, se sostiene que los factores de decisión que impulsan al productor a decidir trabajar o no con estas técnicas son, el costo de los insumos, el mejoramiento de los campos, la reducción de costos y el maximizar rendimientos. También resalta los factores de restricción como la falta de capacitación de los usuarios, falta de capacidad en los procesamientos de datos y de información. En la actualidad en el país, existen varias empresas dedicadas a la AP, que cuentan con herramientas y tecnología suficiente para llevar a cabo un buen trabajo en AP. En el capítulo 3 se incluye detalle de algunas de estas empresas, así como los productos que generan.

---

<sup>5</sup>Licenciado en Mecanización Agrícola de la UADE (Argentina); Socio-Gerente de Martínez Peck – Becerra Consultores.

## 1.2.- Insumos y productos necesarios para la AP

Una característica clave en la Agricultura de Precisión, como ya se ha dicho, es la determinación de Zonas de Manejo. Una de las interrogantes que más se presenta en los productores y técnicos respecto a estas, es cuál es la cantidad óptima y las dimensiones de las zonas de manejo para una chacra, la que va a estar dada por la variabilidad natural, el tamaño y los factores prácticos que puedan existir en ella. Para poder realizar esta determinación de zonas, con el fin de realizar un óptimo trabajo de Agricultura de Precisión, es necesario contar con cierta información sobre el suelo y la región. Algunos de estos datos son conocidos de antemano, y otros deberán conocerse, para lo cual se recurre a diferentes técnicas. En nuestro País existen datos relevantes, que ayudan en la determinación de las zonas de manejo, como los mapas de suelos, el índice CONEAT, los datos de precipitaciones y las cartas geológicas, estos datos son información a nivel País y accesibles. También se cuenta con la tecnología para que, en cada proyecto de AP, se pudiera contar con información del historial de la zona a trabajar y sus mapas de rendimiento, los cuales serían relevantes para ajustar y monitorear los procesos de la AP.

Según el INIA, para realizar la clasificación de los suelos para cultivos de invierno, en el informe “Aptitud de los suelos para cultivos de invierno de los departamentos de Soriano y Colonia”, realizado por GRAS – INIA (2012), se necesitan conocer las siguientes variables:

- Fertilidad,
- Drenaje,
- Pendiente,
- Rocosidad,
- Profundidad Radicular.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en su manual de Agricultura de PROCISUR<sup>6</sup> (2014) por su parte, toma las siguientes variables como las determinantes para Agricultura de Precisión:

- Conductividad eléctrica,
- Materia orgánica,
- Nutrientes y PH,
- Balance hídrico del suelo.

Considerando los requerimientos tanto del INIA como del IICA y la información recabada en charlas técnicas brindadas por INIA Estanduela

---

<sup>6</sup>PROCISUR: Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur.

(2013) e INIA Tacuarembó (2016), en el marco de este proyecto se define que los factores que son necesarios en la etapa de monitorización de la AP son los siguientes:

- Textura: Es la proporción de cantidad existente de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje de arena, arcilla y limo; es una de las propiedades más estables del suelo. También es un índice muy útil para indicar otras propiedades tanto físicas como químicas, las cuales pueden determinar su uso potencial en agricultura.

Se puede determinar en laboratorio o a campo. En laboratorio se utiliza comúnmente los métodos de Bouyoucos y de la pipeta, ambos se basan en la ley de Stokes, los resultados entre ambos son similares. El método de Bouyoucos tiene la ventaja de dar resultados en menor tiempo, mientras que, si bien el de la pipeta requiere de periodos de tiempos más largos, logra resultados más precisos, como en el caso de requerimientos de precisión en el contenido arcilla en los horizontes genéticos de un suelo.

Para la determinación de la textura en el campo se utiliza el método de Textura a Mano, donde se genera una pasta homogénea de la muestra y se determina la presencia de brillo, si es lisa o escamosa y si al tacto es áspero.

- Conductividad eléctrica: Actualmente para medir ciertas propiedades del suelo se utilizan los equipos de conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica de los suelos se puede definir como su aptitud para transmitir la corriente eléctrica y es un potencial indicador de la variación de la producción de los cultivos, causada por diferencias en el agua del

suelo. La variabilidad de la conductividad eléctrica depende de factores como: los agentes cementantes como arcillas, materia orgánica y estructura del suelo; la salinidad; los iones; el contenido de humedad y la temperatura del suelo; la cantidad y el tipo de minerales. Los datos que se obtienen a partir de la medición de la conductividad eléctrica son usados básicamente para el diseño de sistemas de riego y para estimar la textura del suelo, ya que las partículas de arcilla conducen más corriente que las de limo o arena.

- Materia orgánica de suelos: Está definido por el material orgánico biológico de cualquier naturaleza, que se encuentre sobre o dentro del suelo, vivo, muerto o en estado de descomposición. El contenido de este aumenta con la humedad y disminución de la temperatura. Se relaciona con la textura del suelo, los de textura fina presentan mayor contenido de materia orgánica que los de textura liviana. Se miden por medio de un sensor óptico de doble longitud montado dentro de una fila plantadora, configurado especialmente por debajo de los residuos de cultivos y la superficie del suelo seco.
- Fertilidad: Nutrientes (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Azufre (S)) y PH del suelo. Los nutrientes son elementos esenciales para el desarrollo vegetal. Los podemos clasificar en macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S), y micronutrientes (Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, Cl); su principal diferencia es la cantidad en que el suelo los requiere, siendo los macronutrientes los requeridos en mayor cantidad. La insuficiencia de micronutrientes da lugar a una carencia en el suelo y su exceso a una

toxicidad. Dentro de los macronutrientes el C y el O la fuente de obtención de estos es el aire, mientras la del H, es el agua del suelo, el N fijación simbiótica, y los demás de la solución del suelo.

La concentración de nutrientes en cada perfil permite conocer por balance de masas la relación de agua en el suelo, pudiendo determinar en forma más certera los momentos en los cuales es necesario modificar la cantidad de aplicación de nutrientes; el manejo adecuado de estos fundamental para garantizar una óptima fertilización y producción en los cultivos. Dentro de los requerimientos nutricionales de los cultivos se destacan, Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Azufre.

*El Nitrógeno*, es el nutriente que en general más influye en el rendimiento y la calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria. La cantidad existente de este en el suelo es muy baja en comparación de lo que consumen los cultivos. Favorece el crecimiento vegetativo, produce succulencia, da color verde a las hojas y gobierna en las plantas el uso de potasio, fósforo y otros. Un exceso de este elemento retarda la maduración, puede bajar la calidad del cultivo, el crecimiento es exagerado, la planta es débil y tierna, en consecuencia, es más propensa a las plagas y enfermedades, y a daños causados por el viento, la lluvia, el granizo y el frío. En cambio, su falta provoca un color verde pálido tirando a amarillo en las hojas, que se debe a la poca síntesis de clorofila; empieza por las hojas más viejas, la planta no crece aunque puede florecer. Los mecanismos de pérdida del Nitrógeno son por lixiviación o lavado, desnitrificación y volatilización.

*El Fósforo*, luego del Nitrógeno, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento del cultivo. Este elemento contribuye a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas; incrementa la eficiencia del uso del agua, como también contribuye a la resistencia de algunas plantas a enfermedades; las pérdidas más comunes del fósforo son por la extracción del cultivo, la erosión, el escurrimiento y la lixiviación. Una carencia de este macronutriente da una floración baja y las raíces presentan bajo desarrollo, se puede apreciar visiblemente en las hojas viejas que presentan un color verde pálido, con los bordes secos y un color entre violeta y castaño.

*El Potasio*, es un elemento esencial para todos los organismos vivos, tiene un rol importante en la activación enzimática y favorece en el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos. La fuente principal de este macronutriente en el suelo proviene de los minerales arcillosos, su presencia aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, a la sequía y al frío, mientras que su deficiencia se ve primero, cuando es leve, en las hojas viejas, las cuales se mantienen verdes pero con los bordes amarillentos y marrones, pero cuando es aguda, afecta más severamente a los brotes jóvenes, en los que se ven las hojas como rojizas, llegando hasta secarlas, reduce la floración, la fructificación y el desarrollo de toda la planta. Principalmente es en suelos arenosos donde se presenta su deficiencia, por su alto contenido de calcio.

El último de los macronutrientes es *el Azufre*; las plantas lo aprovechan del

suelo en la forma de sulfato, por tanto, se lo estima midiendo el sulfato del suelo. Este elemento está limitado por el PH, el contenido de materia orgánica y la salinidad del suelo; las carencias que sufre la planta pueden ser debidas a la falta directa del elemento o a que esté presente, pero no de una forma asimilable directamente por la planta. Una deficiencia de este elemento se refleja en un crecimiento lento de la planta, debilidad estructural generando tallos cortos y pobres, clorosis en hojas jóvenes, amarillamiento principalmente en los “nervios” fóliales y hasta aparición de manchas oscuras, desarrollo prematuro de las yemas laterales y una formación incompleta de los frutos.

El PH es uno de los parámetros que mejor refleja las propiedades químicas de cualquier suelo, es un factor que determina la disponibilidad de muchos de los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas, si bien no es posible deducir la acidez total del suelo midiendo el PH, existen rangos que son muy informativos sobre la química del suelo y se puede estimar la disponibilidad de los nutrientes a partir de él. Para el PH del suelo, se generan mapas de variabilidad mediante sensores electroquímicos, los cuales se utilizan para tomar decisiones precisas para mejorar las condiciones del suelo.

Para poder determinar la fertilidad del suelo, se realizan muestras de suelo en campo, dependiendo la cantidad y distribución de dichas muestras de las decisiones del profesional encargado; se analizan en laboratorios específicos en la materia.

- Drenaje y Balance hídrico del suelo: Drenaje superficial, está referido a la velocidad relativa con que el agua se mueve por la superficie del suelo. Para determinarlo existen varios procedimientos, tales como sensores de tipo Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia (FDR) y Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR). Lo que se busca determinar es el contenido de agua en el suelo y relacionarlo con las necesidades de agua de las plantas.
- Pendiente: Topográficamente es la relación que existe entre el desnivel y la distancia horizontal. El principal problema causado a partir de zonas con pendientes elevadas es la pérdida de productividad del suelo, llamada erosión o degradación, si se pierden los estratos exteriores, donde se encuentra la mayor parte de la materia orgánica, la producción disminuirá; otros factores como el clima, la cobertura vegetal y los usos agrícolas también influyen en la erosión del suelo, La pendiente afecta la formación del suelo, ya que en zonas llanas se forman suelos profundos, menos erosión, más meteorización y mayor infiltración de agua; mientras que en zonas de pendientes superiores al 3%<sup>7</sup> el suelo es escaso, porque se produce mayor erosión del suelo, así como por la menor infiltración de agua, produciendo mayor meteorización. Se puede determinar mediante

---

<sup>7</sup>Pendiente de iniciación de erosión, definida por J.M. García Nájera en su Ecuación de la pendiente máxima admisible en cultivos (1954)

---

relevamientos topográficos o con técnicas de fotogrametría.

- Pedregosidad y Roccosidad: Se define pedregosidad como las piedras de más de 25 cm de diámetro que se encuentran dentro o sobre el suelo, y la rocosidad se refiere tanto a los afloramientos como a las rocas expuestas. Estos no se consideran parte de la matriz del suelo, pero sí en el uso de este. En nuestro país se pueden obtener datos para determinarlos a partir de las Cartas Geológicas y CONEAT, también pueden ser obtenidos mediante técnicas de fotointerpretación.

## CAPÍTULO 2.

### VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS - UAV

¿Cómo definir qué es un UAV? Esta es la primera pregunta que se presenta al momento de trabajar con ellos; Torres-Sánchez lo define como “... aviones o multirrotores controlados de forma remota o autónoma que siguen una línea de vuelo preprogramada”. Por otro lado, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos ahonda más en el tema y utiliza la siguiente definición *“un vehículo propulsado que no dispone de operador humano, que puede operarse de forma autónoma o por control remoto, que puede ser recuperable y que puede llevar una carga letal o no letal”*. De ambas definiciones y otras tantas existentes, se ve un elemento en común, con el cual se los puede definir concreta y sencillamente como una aeronave sin piloto a bordo.

Estos peculiares “aviones” surgen en la Primera Guerra Mundial, con un fin meramente Militar, y eran llamados “torpedos aéreos”, “aeronaves automáticas”, “teledinos” entre otros, estas denominaciones con el transcurso del tiempo se dejaron de utilizar. En los años 30' fue cuando se los nombró como “drone”, palabra que traducida del inglés significa “zángano”, esta denominación ha perdurado a lo largo de los años y es la que se utiliza en el vocabulario cotidiano. Tiempo más tarde, en la década del sesenta surge la sigla “RPV” (Remotely Piloted Vehicle – Vehículo Pilotado a Distancia), veinte años después se comienza a utilizar la

denominación “UAV” y la aviación civil norteamericana utilizaba “ROA” (Remotely Operated Aircraft), cambiando del concepto RPV las palabras pilotado por operado y vehículo por aeronave. Ya en el siglo XXI se extiende a “UAS” (Unmanned Aircraft System - Sistemas de Aeronave No Tripulados) que refiere al conjunto de elementos que consisten en una aeronave no tripulada, su estación o estaciones de control en tierra, los enlaces de comando y control requeridos y cualquier otro elemento del sistema que sea necesario en cualquier momento durante la operación de vuelo. Con esta definición se busca contemplar además del vehículo aéreo, a los demás componentes asociados. Hay quienes, basados en cuestiones legales y regulatorias, entienden que la denominación más apropiada sería “RPAS” (Remotely Piloted Aircraft Systems - Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia) con el objetivo de evitar confusión sobre el grado de control humano sobre el sistema.

Actualmente, la AUD (Asociación Uruguaya de Drones) utiliza la sigla DAOD (Dispositivo Aéreo Operado a Distancia) en nuestro País. La ICAO<sup>8\*</sup> distingue entre las aeronaves no tripuladas en: las que pueden ser acomodadas en el espacio aéreo manteniéndolas alejadas de otras aeronaves y aquellas que pueden integrarse al espacio aéreo junto con las aeronaves tripuladas, como las RPA, las cuales estarán sujetas a los

---

<sup>8</sup>Organización de Aviación Civil Internacional – [www.icao.int](http://www.icao.int). Organismo especializado de la ONU creado en 1944 para ejercer la administración y velar por la aplicación del Convenio sobre Aviación Civil internacional, del cual Uruguay es miembro y forma parte del Consejo por el período 2016-2019.

---

mismos requisitos de equipamiento y certificación que las demás que operan en el espacio aéreo, es decir, las RPA actúan y se tratan como un avión tripulado. Para el presente proyecto se asume la denominación UAV.

## 2.1.- Clasificación de los UAV

Se pueden clasificar los UAV según diferentes criterios:

El grado de control humano en:

- *controlados de manera remota,*
- *programados con un plan de vuelo previo,* que vuelan de forma autónoma.

Según el tipo de aeronave, en dos grandes grupos:

- *de ala fija* (Fixed Wing Aircraft) los cuales son representados mayormente en aviones, pero existen también planeadores, ala delta, etc.



Imagen 4: UAV de ala fija. (Fuente: [www.xdrones.es](http://www.xdrones.es))

Este tipo de UAV cuenta con un diseño de dos alas, tienen mayor autonomía, vuelan a mayor velocidad, se utilizan generalmente para cubrir superficies y distancias más extensas y transportar cargas más pesadas. Pueden operar con vientos de hasta 50 km/h y normalmente permanecen en el aire entre 30 minutos y varias horas, según el modelo. La mayoría

vuelan en piloto automático, siguiendo las rutas de vuelo predeterminadas que se cargan antes del vuelo. Un piloto en el terreno simplemente monitorea el progreso del vuelo y hace ajustes cuando es necesario. Una gran desventaja sobre estos es que generalmente requieren una franja de espacio abierto para el aterrizaje y el despegue. Tales espacios pueden ser difíciles de encontrar en entornos montañosos, densamente forestados o construidos.

- *de ala rotatoria*, como multirrotores y helicópteros entre otros, estos últimos son más sencillos de volar en comparación con los de ala fija, que requieren más habilidades para su control, pero son aptos para superficies más grandes que los de ala rotatoria.



Imagen 5: UAV de ala rotatoria (Fuente: [www.todoelcampo.com.uy](http://www.todoelcampo.com.uy))

Son aquellos en los cuales las fuerzas de sustentación se logran mediante el giro las hélices en el aire, y al contar con giroscopios y estabilizadores, así como sistemas GPS, se pueden mantener en el mismo sitio sin variar la posición. Se utilizan normalmente para tiempos de vuelo y

distancias más cortas, para grabar imágenes o para transportar cargas ligeras. El tipo más utilizado es el que cuenta con cuatro hélices, por lo que a menudo se les llama cuadricópteros. Su principal ventaja es que despegan y aterrizan verticalmente, por lo que no requieren mucho espacio, y los controles y software mejorados permiten la estabilización y la dirección automática mediante control remoto o piloto automático. Sin embargo, la desventaja es que los tiempos de vuelo se acortan severamente: existe modelos de pequeños aviones no tripulados que cuentan una duración de batería de solo unos 10 minutos.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de modelos de UAV que se pueden obtener en el País y utilizarse para AP.

#### eBee AG:

UAV creado por senseFly, empresa suiza que desarrolla y produce UAV's de captación aérea de imágenes para aplicaciones profesionales. Es del tipo Ala Fija, con un alcance óptimo de hasta 45 minutos de autonomía de vuelo y una cobertura máxima de 10km<sup>2</sup>. Cuenta con lanzamiento manual, no requiere catapulta y aterriza por sí solo, tiene un alcance de 3km y conexión por radio 2,4 Ghz, su peso al despegar es de 0,71 kg.

Viene con cámara suministrada Canon S110 NIR, obtiene datos de las bandas visibles verde y roja y la banda infrarroja cercana. Características técnicas: Resolución 12MP (3,5cm/pixel a 100 m de altura de vuelo), Tamaño del pixel 1,86 um y el tamaño del sensor es de 7,44 por 5,58 mm.

Existen otras cámaras que pueden usarse en este modelo de UAV:

- Canon S110 RE (adquiere datos de la banda roja (red-edge) y las bandas visibles verde y azul),
- Canon S110 RGB (obtiene datos del espectro visible),
- ThermoMAP (captura imágenes fijas y vídeos térmicos en infrarrojo),
- Sequoia (obtiene datos a través de cuatro bandas del espectro, infrarrojo cercano, banda roja, rojo y verde y realiza fotografías en RGB en un único vuelo).

#### eBee PLUS: cámara RGB de 20 Mp para fotogrametría - ALA FIJA

UAV también creado por la empresa senseFly. Es del tipo Ala Fija, con un tiempo de vuelo de 59 minutos con cualquier cámara y puede cubrir 220 há a una altura de 120 metros en un solo vuelo, con una cobertura máxima de 4000 há, no requiere catapulta y aterriza por sí solo, su alcance es en un rango óptimo de 3km pero puede llegar a los 8km, la velocidad crucero nominal oscila entre los 40 y 90 km/h, su envergadura es de 110 cm y su peso es de 1,1 kg.

La cámara que suministra es senseFly S.O.D.A (Sensor Optimised for Drone Applications), diseñada para trabajar en fotogrametría con UAV's, captura imágenes RGB; sus características técnicas son:

- Resolución 20 MP (2,9cm/pixel a 120 metros de altura de vuelo),

- tamaño de pixel de 2,33 um
- tamaño del sensor en formato óptico es de 1”.

Este tipo de UAV con este sensor incluye la funcionalidad RTK/PPK incorporada, donde la precisión obtenida en el levantamiento realizado sin la necesidad de puntos de control en tierra implica menos tiempo en el campo y más eficiencia en el trabajo. Este modelo permite cargar otros tipos de sensores.

#### Sistema aéreo no tripulado EXPLORER:

El Explorer es un UAV desarrollado en Argentina del tipo de ala fija, a partir del cual se pueden obtener imágenes RGB, multiespectrales o térmicas, con la posibilidad de estar todos integrados sobre el fuselaje de forma tal que en un solo vuelo se puedan obtener todos los datos a la vez. Su peso es de 3,5kg, logra una velocidad crucero de 70km/h, con una altura de 100 a 450 metros, y tiene una autonomía de 40 minutos. La empresa cuenta con otro tipo de UAV, un cuadrilátero, también desarrollado en Argentina, tiene la posibilidad de cargar las mismas cámaras que el Explorer.

## 2.2.- Sensores remotos portados en UAV

Los sensores remotos son instrumentos que miden la energía reflejada o emitida por los objetos sin entrar en contacto físico con ellos, los cuales pueden producir una imagen o datos numéricos. Se podría decir que el conjunto de sensores es más importante que el propio UAV, debido a que son los componentes que capturan todos los datos requeridos para determinado proyecto.

Se pueden clasificar según el origen de la fuente de energía, en pasivos, los cuales reciben la energía reflejada proveniente de una fuente exterior a ellos (como por ejemplo el sol), y los activos, que reciben la energía reflejada de una fuente propia.

Una característica que distingue a los sensores es la resolución que presentan, es decir, la habilidad para discriminar información en detalle, que puede abordarse desde cuatro ópticas diferentes:

- *Resolución espacial*, es la medida del objeto más pequeño que puede distinguir el sensor, tanto el diseño del sensor como su altura sobre la superficie determinan el tamaño de la unidad más pequeña.
- *Resolución espectral*, es la habilidad del sensor de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda, se corresponde al ancho de bandas espectrales que puede discriminar el

sensor. A mayor cantidad se habla de mayor resolución espectral.

- *Resolución radiométrica*, es la sensibilidad del sensor, su capacidad para detectar diferencias en la radiancia espectral que recibe y depende del rango dinámico con que se ha construido el sensor. Si la energía se distribuye en un rango mayor, el sensor es más sensible a pequeños cambios de energía.
- *Resolución temporal*, es la frecuencia de cobertura temporal de revisita del sensor a la misma área.

El espectro electromagnético hace referencia a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) un objeto y que sirve para su identificación, dentro de una porción del espectro visible por el ojo humano y el límite del infrarrojo. En cuanto a sensores, en el uso de aplicaciones agrícolas se ha difundido el uso de sensores RGB e infrarrojo cercano a través de las cuales y utilizando combinaciones e índices, se pueden apreciar características de los cultivos.

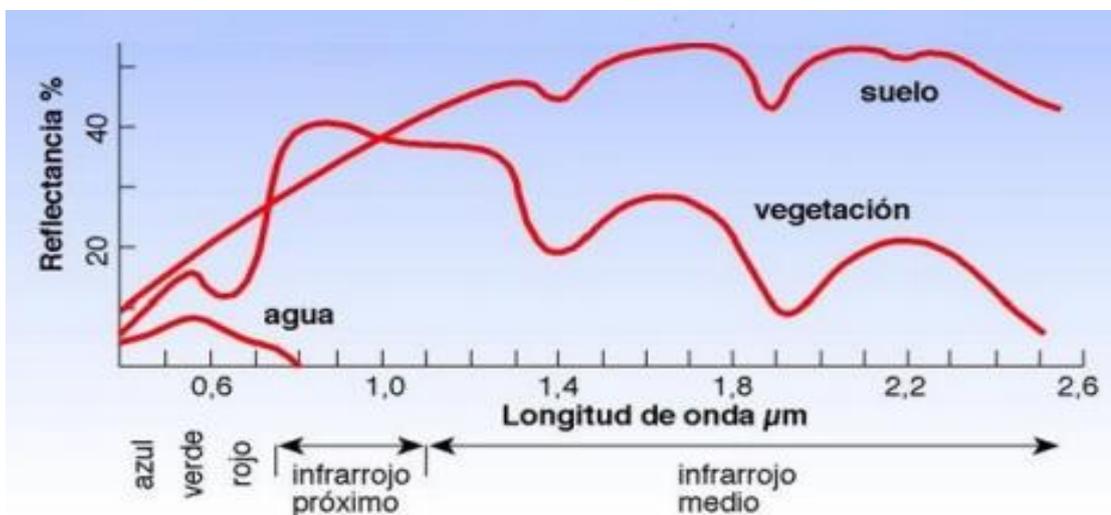


Imagen 6: Curvas de reflectancia espectral de las principales coberturas de la superficie terrestre (Fuente: [www.drones.uv.es](http://www.drones.uv.es))

Las categorías principales de bandas electromagnéticas son las siguientes:

- *Espectro visible (RGB)*, detecta la luz de la región visible del espectro electromagnético. Este es el rango de luz que los ojos pueden ver de forma natural. La cámara con sensor de luz visible es capaz de detectar los canales rojo, verde y azul de la luz visible.
- *Espectro infrarrojo cercano (NIR)*, (720nm a 1000 nm) es la más cercana en la longitud de onda a la región visible del espectro electromagnético, pero el ojo humano es mucho menos sensible a esta área. En esta banda es donde se puede observar características de la vegetación, también se usa para detectar propiedades de los suelos y

análisis de humedad o estrés por deficiencia de nutrientes en el suelo de los cultivos, manejo del agua, balance hídrico, análisis de erosión y conteo de plantas que permiten tomar decisiones adecuadas para su manejo.

La banda NIR se encuentra justo al lado del espectro visible, se refiere como el "borde rojo" (720nm a 850nm) y se utiliza mucho en soluciones agrícolas. Esta banda se utiliza como línea de base para el análisis de la vegetación. Con el fin de crear el cálculo NDVI (índice diferencial de vegetación normalizado), el cual es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor. Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de una imagen multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo. El NDVI se utiliza en todo el mundo para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización. El NDVI es muy utilizado en el seguimiento de la vegetación global porque ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, la orientación y otros factores para la salud de la vegetación, es importante capturar NIR y al mismo tiempo capturar el valor rojo de la banda visible. Esto requiere, una cámara especialmente diseñada, por ejemplo, las cámaras Tetracam<sup>79</sup>.

---

<sup>9</sup>[www.tetracam.com](http://www.tetracam.com)

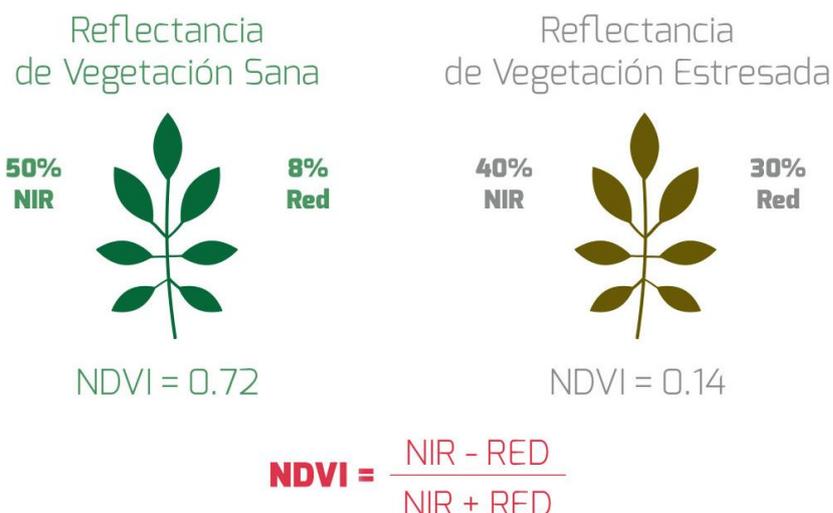


Imagen 7: Calculo de NDVI (Fuente: www.helidroid.com)

- *Espectro infrarrojo (IR)*, se encuentra entre las partes visibles y de microondas del espectro electromagnético. El ser humano no es capaz de ver la luz infrarroja, pero a medida que crece en intensidad y se mueve hacia abajo en el espectro se comienza a sentir en forma de calor que es causado por el movimiento de sus átomos y moléculas. Cuanto mayor sea la temperatura más se mueven estas moléculas, por lo tanto, la producción y la emisión de radiación infrarroja también se incrementa. Los sensores convierten esta energía infrarroja en señales eléctricas que luego se utilizan para producir una imagen térmica. Las imágenes térmicas utilizan una escala de temperatura de color visible para representar las diferentes temperaturas. Las imágenes térmicas son ideales para aplicaciones tales como inspecciones, la gestión del agua, el manejo y conteo de animales, vigilancia, búsqueda y rescate.

Tipos de sensores portados en UAV's:

Los sensores nombrados a continuación son posibles de ser portados en UAV, pero se deberá, al momento de utilizarlos, analizar en cada caso según el tipo y las características del sensor y del UAV, si es posible su uso combinado.

- *Sensor RGB*, es el sensor más usado y conocido por la población, se utiliza tanto de modo recreativo como para inspecciones visuales, para dar respuestas ante emergencias, vigilancia, así como también para fotogrametría, aplicaciones de topografía, modelos de elevación de terreno, uso del suelo y conteo de plantas.
- *Sensor Multiespectral*, el uso más común es para el estudio de parámetros relativos a la vegetación como las medidas de sanidad vegetal o índices de vegetación. Por lo que las bandas están seleccionadas en los rangos del verde, rojo e infrarrojo cercano, que es donde la vegetación presenta su mayor respuesta de absorbanza y reflectancia.

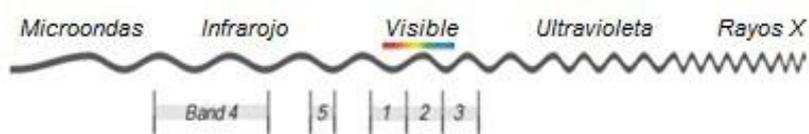


Imagen 8: Bandas típicas de un sensor multiespectral (Fuente: [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org))

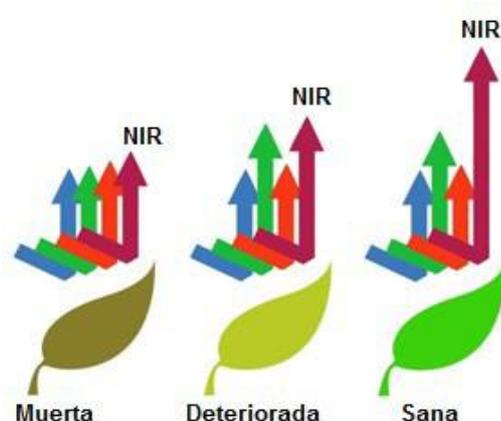


Imagen 9: respuesta espectral de la vegetación con NIR (Fuente: [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org))

- *Sensor Hiperespectral*, es el sensor más avanzado en la toma de datos espectrales, la mayoría de las soluciones existentes capturan la información comprendida entre 400 nm y 1000 nm, tomando datos de hasta 300 bandas. Con ello, se consigue la máxima información espectral en el rango correspondiente a la vegetación. Se pueden obtener datos como de medición de salud de las plantas, evaluación de la calidad del agua, y cálculos de índices de vegetación.

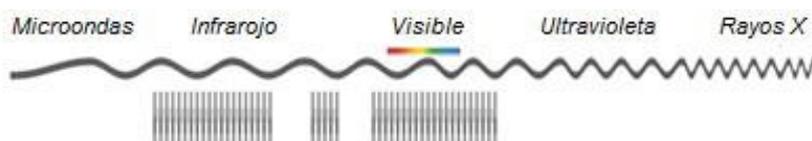


Imagen 10: Bandas típicas de un sensor hiperespectral (Fuente: [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org))

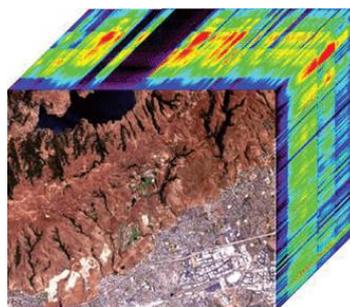


Imagen 11: Imagen cubo del sensor hiperespectral (Fuente: [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org))

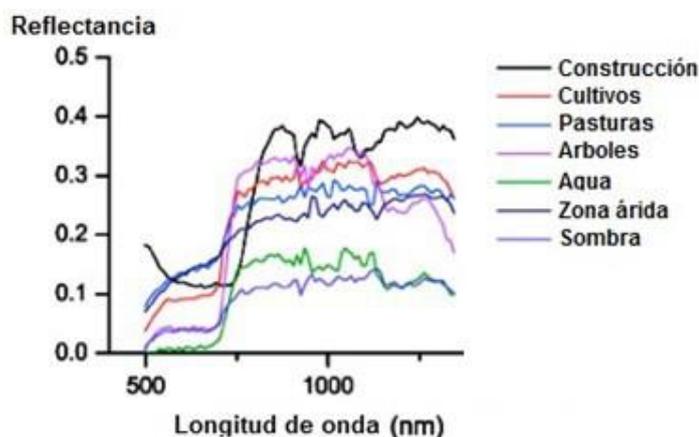


Imagen 12: Respuestas espectrales obtenidas por el sensor hiperespectral (Fuente: [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org))

- *Sensor Térmico*, captura la información correspondiente al infrarrojo lejano, en el rango de 8-14  $\mu\text{m}$ , donde se observa la temperatura emitida por los elementos presentes en el área de estudio. Para su uso en UAV's, la solución pasa por la integración de un núcleo de sensor térmico, cuyo peso puede ser inferior a los 100 gramos, esta integración consiste en la

captura de las imágenes tomadas por el núcleo, para su almacenamiento junto con los datos de telemetría del UAV, de manera que posteriormente pueda procederse a su corrección geométrica y formar el mosaico. La información que se obtiene mediante estos sensores puede advertir sobre situaciones de estrés hídrico en las plantas, lo cual permite detectar problemas fitosanitarios, también se pueden detectar firmas de calor, localización de ganado, detección de temperatura y fuentes de agua, respuestas a emergencias, vigilancia y seguridad.

- *Lidar (Light Detection And Ranging)*, se trata de un sensor activo que permite medir la distancia entre el dispositivo y un determinado objeto mediante la emisión de un haz láser pulsado. Para conseguir medir la distancia se calcula el tiempo de retraso entre el momento de emisión del pulso láser y la posterior detección del reflejo o rebote de dicho pulso. Estos sistemas permiten obtener un elevado número de puntos con una gran homogeneidad espacial, pero no permiten identificar fácilmente el objeto sobre el cual han impactado los pulsos de haz de luz, por lo cual se suelen capturar imágenes fotogramétricas junto con la captura de datos LIDAR. Estos sistemas pueden llegar a generar hasta 150000 pulsos láser por segundo y por lo general operan en la región visible, ultravioleta o infrarroja del espectro electromagnético. Estos sensores portados en UAV son especialmente empleados en: agricultura, ya que penetra a través de la vegetación y pueden realizar la medición de la altura de la planta, silvicultura, creación de mapas, topografía en la minería a cielo abierto, inspección estructural de obras, modelado de costas y de marejadas, y detección de variación de superficie y mapeo de inundaciones.

### **CAPITULO 3.**

#### **Empresas en Uruguay y la Región dedicadas a AP y/o UAV**

En primer lugar, se detallan las empresas más relevantes a la fecha que trabajan directa o indirectamente con Agricultura de Precisión y/o UAV en nuestro país.

##### 1. Empresa: La Hectárea Profesionales Asociados

Ofrece a pequeñas y grandes agro-empresas diferentes servicios para una mejora del desarrollo de la producción, como muestreo detallado de suelos, mapeo de nutrientes, determinación de zonas de manejo, prescripción y fertilización de base fósforo y nitrógeno, entre otros. Desarrolló en conjunto a la Industria Sulfúrica Uruguaya (ISUSA), empresa uruguaya de venta de fertilizantes y servicios asociados, el sistema “SAPI”: “Sistema de Agricultura de Precisión de ISUSA”.

La empresa brinda servicios como:

- Muestreo detallado de suelo
- Mapeo de Nutrientes
- Determinación de zonas de manejo

Los productos y servicios que se desarrollan según el sistema SAPI se detallan en el ítem de la empresa ISUSA a continuación.

## 2. Empresa: Industria Sulfúrica S.A. (ISUSA)

**Web:** [www.isusa.com.uy](http://www.isusa.com.uy) (2017)

Es una industria química fundada en 1947, con actividades formales desde 1951 en San José. Está dedicada a la elaboración de diferentes fórmulas de fertilizantes, compuestos sólidos y líquidos y productos químicos. Además, la empresa presta un completo asesoramiento agronómico para determinar el producto adecuado a la necesidad de cada cultivo y a las características de cada suelo ofreciendo una amplia gama de fórmulas. Cuenta con una estructura de producción única en el país, siguiendo fielmente una política de reinversión permanente y adecuando su tecnología en forma dinámica y sostenida para garantizar la calidad de sus productos. En 1997, se adquiere Fanaproqui S.A., y se incorpora la fabricación y comercialización de funguicidas y fertilizantes foliares para la agricultura.

Dentro de su cartera de productos, se destaca en AP el Sistema de Agricultura de Precisión ISUSA (S.A.P.I.), este sistema mejora la estabilidad de la producción, maximiza el retorno económico del productor a través de la optimización de recursos, pudiendo también manejar en mayor medida los riesgos agrícolas. SAPI ofrece un sistema de aplicación variable en el cual utiliza las herramientas de:

- Análisis de mapas de rendimiento
- Imágenes satelitales

- Mapas de conductividad eléctrica del suelo
- Análisis del suelo georreferenciados
- Planos altimétricos e información geológica
- Elaboración de mapas de prescripción y fertilizadora de dosis variable.

Con toda la información recabada se realiza un análisis para luego aplicar la dosis justa en cada sector y se generan capas de información geográficas integradas para el manejo de nutrientes no móviles (Fósforo y Potasio). La metodología de trabajo se centraliza en el muestreo georreferenciado in situ, navegación en tiempo real de las capas de información dentro de la chacra, obteniendo una muestra de suelo compuesta (10 a 15 submuestras) por cada zona.

La empresa corrobora a nivel de campo la información disponible de:

- Imágenes satelitales,
- Suelos,
- Topografía,
- Mapas de rendimiento,
- Conductividad eléctrica.

El resultado final es una caracterización de las diferentes zonas delimitadas, logrando una zonificación en el campo con información georeferenciada dependiente de la variabilidad inherente a cada chacra (entre 5 y 35 hectáreas/zona). Generando para cada una de ellas información de: área, forma y ubicación geográfica que ocupa dentro de la chacra, espesor del perfil (profundidad al horizonte C), descripción semidetallada del perfil de suelo (textura y espesor de los horizontes A, B y C), posición topográfica (concavidad y convexidad), estimación de pendiente y resultados de laboratorio de Fósforo disponible Bray 1 (Espectrofotométrico), Potasio intercambiable (Fotometría llama), Materia Orgánica (Walkley-Black Method) y pH en agua (pH-metro). La última etapa del sistema consiste en caso de que amerite en la aplicación variable de fertilizantes solubles, corrigiendo los niveles actuales de fósforo y potasio. Dejando en manos del productor la decisión de que fórmula y dosis se utilizará.

### 3. Empresa: Agroambientes

**Web:** [www.agroambientes.com.uy](http://www.agroambientes.com.uy) (2017)

Empresa formada por un grupo de profesionales con vasta experiencia cuyo objetivo es asesorar a empresas agropecuarias en la búsqueda de optimizar la toma de decisiones., que busca generar el máximo resultado económico posible hacia sus clientes, gestionando el conocimiento, aplicando tecnologías y respetando los recursos naturales. Los servicios que brindan abarcan un amplio espectro dentro de los rubros

agricultura y ganadería, así como también el análisis de inversiones tanto en empresas agropecuarias como en empresas contratistas.

En el rubro Agricultura de precisión algunos de los productos y servicios que brinda la empresa son los siguientes:

- Generación de Ambientes de producción: Herramienta para conocer cuánto, dónde y que tipo de respuesta se puede esperar de un ambiente para diferentes cultivos y/o manejos.
- Análisis de suelos georreferenciados con Calador Hidráulico: permite tomar la muestra siempre de la misma manera, con la representatividad que el lote o ambiente en estudio requiere, y georreferenciando el punto con la posibilidad de volver al mismo lugar en el tiempo.
- Manejo Sitio-Específico (Aplicación Variable de Semillas y Fertilizantes): Utilizar la cantidad correcta, en el lugar correcto y en el momento correcto. La tecnología permite utilizar los recursos donde son necesarios y ahorrarlo donde no lo son.
- Imágenes Satelitales / Mapas de índice Verde (NDVI): Esta tecnología permite chequear ambientes de producción y además utilizar el estado de los cultivos para presupuestar rindes en base a índice Verde, entre otros.
- Carga, depuración y síntesis de mapas de rendimiento: Es un

registro, pero con la particularidad de ser metro a metro, georreferenciado y además con datos de humedad y por ejemplo velocidad de cosecha. Permite chequear los ambientes, presupuestar consumo de nutrientes, entre otros.

- Planes de Uso y Manejo de Suelos USLE / RUSLE: Herramienta generada y validada en Uruguay que permite mediante el ingreso de parámetros topográficos y agronómicos conocer la potencial pérdida de suelo que puede presentar una rotación agrícola o Agrícola ganadera.

#### 4. Empresa: Daniel Melo - Agronomía de Precisión

**Web:** [www.danielmelo.com.uy](http://www.danielmelo.com.uy) (2017)

La Empresa brinda un equipo de trabajo conformado por profesionales con varios años de experiencia, formación académica específica y dedicación plena a la Agricultura de Precisión y Agronomía llamado Agroyeitos, dirigido por el Ing. Agr. Daniel Melo García, la cual Brinda asesoramiento integrado con especial énfasis en la Agricultura de Precisión, interactuando y acompañando al productor en su “camino tecnológico”.

La empresa propone hacer un fácil manejo de la A P manejando de forma variable los cultivos, tratando diferente lo que es diferente. Se hace eficiente y a costos convenientes integrando Agronomía con varias herramientas

SIG y de procesamiento de datos. Los resultados esperados son aumentar la eficiencia del uso de los nutrientes y demás insumos, minimizar excesos y déficit, estabilizar y aumentar la producción, cuidado el suelo y el medio ambiente, optimizar el uso del dinero y bajar costos.

Los servicios que brinda la empresa son:

- Determinación de zonas de manejo, prescripción de fertilización de base (fósforo y nutrientes no móviles), prescripción de densidad de siembra en maíz, prescripción aplicación de fertilizantes líquidos en maíz y cultivos de invierno.
- Plataforma web de administración agrícola, gestión de los mapas de rendimiento, ensayos a campo, medición de resultados, evaluación de campos y aptitud de uso, y servicios de información.
- Mapeo de perfil de suelos, análisis basados en modelos digitales de terreno e hidrología, muestreos detallados de suelos y análisis de laboratorio, distribución espacial de nutrientes, y análisis de Imágenes satelitales.
- Seguimiento de cultivos, muestreo de plantas y análisis de laboratorio, y análisis de imágenes satelitales.
- Seguimiento de monitores de rendimiento, seguimiento y chequeo de aplicación variable, y sistema de telemetría de maquinaria agrícola.

## 5. Empresa: Unicampo

**Web:** [www.unicampo.com.uy](http://www.unicampo.com.uy) (2017)

Empresa con años de trabajo en el sector y amplia diversidad de empresas asesoradas. La empresa brinda asesoramiento técnico en todas las áreas de la agropecuaria y/o administración de empresas del sector, buscando orientar dicho asesoramiento dentro de un marco de desarrollo sustentable. La empresa cuenta con los siguientes productos y servicios:

- Análisis de la condición climática y de la potencial y estado del recurso suelo.
- Confección del plan de siembra anual/zafral.
- Programa y monitoreo de siembra.
- Monitoreo y manejo de nutrientes chacra a chacra.
- Monitoreo de malezas enfermedades y plagas.
- Estudio completo de suelos, en cuanto a capacidad de uso, riesgos (erosión, déficit y exceso hídrico).
- Diseño agrícola que a priori permita mantener un proceso de erosión bajo control.
- Plan de uso y manejo de suelos.

- Zonificación y ambientación de chacras.
- Procesamiento de imágenes satelitales, Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar las condiciones del suelo, los tipos de vegetación y su estado. Mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales, es posible hacer un seguimiento de la evolución de las diferentes comunidades vegetales y de los cultivos agrícolas.
- Seguimiento de cultivos y estimación de rendimientos a través del NDVI.
- Procesamiento de monitores de rendimiento.
- Diagnóstico de condición actual y potencial productivo de chacras, análisis exhaustivo de las principales condiciones edáficas actuales en relación a las esperadas en condiciones de campo natural.
- Estudio de capacidad de uso del suelo. identificación de distintas clases de uso de suelos.
- Planes de uso y manejo del suelo, diseño de prácticas conservacionistas, se diseñan distintos sistemas que ayuden a disminuir y/o controlar la erosión generada, entre estos se destacan el diseño de terrazas y fajas empastadas.
- Muestreo de chacras y monitoreo de nutrientes, se realiza análisis de nutrientes en suelo y planta para corregir presuntas deficiencias

nutricionales en momentos específicos de cada cultivo. Se ofrece desde el muestreo de nutrientes en suelo y planta en un momento puntual o su monitoreo y recomendación de manejo nutricional durante todo el ciclo del cultivo. También se brinda la opción de muestreos geo-referenciados para la toma de decisiones en aquellos sistemas que manejan la nutrición del cultivo por ambientes de potencial productivo.

La empresa junto a 2000aviation ([www.2000aviation.com](http://www.2000aviation.com)) cuentan con un programa de Teledetección de alta frecuencia y resolución aplicada al manejo de cultivos y pasturas, trabajan con constelaciones de satélites Planet Dove y Rapid Eye, los cuales brindan más de 150 satélites especialmente adaptados para el agro, múltiples capturas por semana, resolución espacial de pixel 3 metros (PlanetDove) y 5 metros (RapidEye) e imágenes multiespectrales.

Los productos que brindan con esta tecnología son,

- Generación de índices espectrales a partir de imágenes de alta frecuencia y resolución, NDVI, NDBe, índice de amarillento, índice de brillo, índice de clorofila y cobertura de suelo;
- Identificación de zonas de muestreo, estimación de rangos de potencial de rendimiento para cada muestreo, y diagnóstico y estimación de necesidades de ajuste nutricional.
- Predicción de rangos de rendimiento, estimación del rendimiento en estadios tempranos del ciclo del cultivo en base a probabilidad de

ocurrencia.

- Plataforma GIS y Data Farming, sistema de organización, visualización y manejo digital de la información generada en el proceso productivo y por percepción remota.
- Servicio de apoyo al monitoreo de cultivos y pasturas, identificación de áreas intrachacra con problemas de implantación, crecimiento y/o afectación por eventos climáticos, estimación de avances de maduración de cultivos, monitoreo de avance de cosecha en cultivos, monitoreo de estado de crecimiento de pasturas y seguimiento post operativa aplicada en chacra; medición de áreas, cuencas hidrográficas, superficie de montes, campo natural, pasturas, cultivos, desagües, ojos de agua, áreas improductivas, etc..
- Análisis de imágenes de alta resolución para transacción agropecuarias; imágenes RGD, CIR y Multiespectrales.
- Relevamiento topográfico, generación de modelos (DTM, DEM) en 2D y 3D, altimetría.
- Detección de cambios temporales en superficies de interés a través del análisis de imágenes satelitales en base a color verdadero y/o índices espectrales específicos.
- Cálculos de volumen para dimensionamiento de represas.

**País: Chile**

**6. Empresa: Agroprecisión Ltda.**

**Web:** [www.agroprecision.cl](http://www.agroprecision.cl) (2017)

Empresa que vende equipamiento para la implementación de manejos de AP. Asimismo, ofrece servicios de sensoramiento remoto, caracterización de suelos, implementación de sistemas de información geográfica, entre otros. En el área vitícola se caracterizan por entregar a los productores mapas de vigor del viñedo, los cuales puede ser utilizados para definir zonas de manejo diferenciado.

Los productos y servicios que la empresa brinda son los siguientes:

- Mapas digitales precisos de las diferencias edáficas del suelo con datos obtenidos a partir de mediciones continuas de conductividad electromagnética georreferenciada. Estas mediciones se realizan con un sistema remolcado por un cuatriciclo en terreno obteniendo un barrido de Conductividad Eléctrica de más de 1000 lecturas por há.
- Modelos digitales de terreno obtenidos a partir de datos captados por tecnologías GNSS.
- NDVI obtenido por medio de un sensor activo de luz propia “Crop Circle” georreferenciado montado en un cuatriciclo.

La empresa cuenta con un UAV, del cual no se especifica marca y modelo,

cuenta con las siguientes características, peso: 670 gr., autonomía: hasta 45 minutos, velocidad de operación: entre 36-57 km/h, y puede volar hasta con vientos de 50km/h. Dicho UAV se utiliza para:

- Obtener imágenes con resolución espacial menor a 5cm de pixel para estudios geoespaciales de alto detalle.
- Mapeo de vigor.
- Obtención de curvas de nivel.

#### 7. Empresa: Agrosat Chile,

**Web:** [www.agrosat.cl](http://www.agrosat.cl) (2017)

Es una empresa que entrega una serie de servicios a los agricultores como percepción remota, sensoramiento termal, sistemas GPS para reducir los costos de producción y aumentar su rendimiento. La tecnología que ofrecen está destinada a realizar un manejo sitio-específico de los cultivos.

La empresa cuenta con un servicio de sensoramiento a partir de imágenes satelitales, los que clasifica de la siguiente manera:

- Biosense: servicio que permite evaluar el desarrollo de la biomasa en determinada etapa de crecimiento del cultivo.

- Photosense: servicio que permite evaluar la actividad fotosintética en la planta en determinada etapa del crecimiento del cultivo, la cual tiene una estrecha relación con la determinación con los niveles de nutrientes como el Nitrógeno y Magnesio.
- Powersense: servicio que determina diferentes zonas de potencial productivo, relacionando variables como potencial fotosintético, stress térmico y desarrollo de biomasa de los cultivos.
- Thermosense: servicio de sensoramiento térmico que logra cuantificar la temperatura superficial del cultivo en un determinado momento.
- Hydrosense: servicio que permite obtener niveles de humedad en la planta.
- Stressense: servicio que determina el grado de estrés del cultivo para un momento específico a través de la temperatura y el status hídrico de las plantas.

La empresa también cuenta con servicios de sensoramiento remoto a nivel terreno en puntos específicos.

## 8. Empresa: NEOAG

**Web:** [www.neoag.net](http://www.neoag.net) (2017)

Empresa creada en el año 2004, la cual entrega servicios relacionados con el área de suelos, percepción remota y sistemas de información geográfica para la agricultura. Trabaja con RapidEye, que es una compañía alemana que provee información geoespacial, contando con una constelación de cinco satélites, los cuales cuentan con sensores que generan imágenes con una resolución espacial de cinco metros, las cuales se procesan para generar productos y servicios para todo el conjunto del sector de la agricultura.

La información que se recaba a partir de las imágenes satelitales:

- Información específica acerca del contenido de clorofila.
- Estado nutricional de la cosecha relativo a la presencia de nitrógeno detectada, ya que trabaja con la banda espectral del eje rojo.
- Mapas de suelo a partir del estudio de calicatas georreferenciadas.

**País: Argentina**

**9. Empresa: GeoAgris**

**Web:** [www.geoagris.com](http://www.geoagris.com) (2017)

Empresa que, teniendo su sede central en Argentina, opera además en Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia junto con otras empresas. Son pioneros en el desarrollo de innovaciones basadas en tecnologías de información geográfica para el sector agropecuario, contando con un grupo de especialistas en agronomía, informática, edafología y estadística.

La empresa brinda asistencia para la implementación de Agricultura por ambientes y aplicación espacialmente de variable de insumos, algunos de los servicios que brinda son los siguientes:

- Modelos digitales de terreno a partir de imágenes satelitales.
- Estudios edafológicos de alto rigor.
- Estado hídrico del suelo a partir de sistemas de monitoreo a campo.
- Ensayos de suelo.

### 10. Empresa: Laboratorio Molisol

**Web:** [www.molisol.com](http://www.molisol.com) (2017)

Empresa formada por Ingenieros Agrónomos, enfocada principalmente en el análisis de suelos. Cuenta con los siguientes servicios:

- Mapas de suelo con rastra de conductividad eléctrica, utilizan tecnología Veris y Trimble, este mapeo permite identificar áreas con propiedades contrastantes de suelos. En suelos no salinos la conductividad eléctrica es una medición de la textura del suelo siendo esta una propiedad relacionada íntimamente con la capacidad de retención de agua y capacidad de intercambio catiónico, factores claves de la productividad. El mapeo de la CE provee mucha más información que una muestra superficial (0-20cm) al sensor profundo en la zona radicular (90cm de espesor en forma continua). Funcionamiento: a medida que el equipo Veris pasa por todo el campo, un par de cuchillas inyectan una corriente eléctrica al suelo mientras que otras cuatro leen la caída del voltaje. Los suelos con arcilla (partículas pequeñas) conducen más la electricidad que las partículas más grandes como ser arena y limo. Al mismo tiempo que se releva conductividad eléctrica del suelo también se genera un mapa altimétrico con precisión subcentimétrica, valiosa información para futuras acciones de control de erosión, drenajes, manejo sitio específico etc.
- Mapeo de índice verde. Se utiliza el sistema Greenseeker de sensado óptico de cultivos, el cual mide su desarrollo y verdor, y para mapear índice verde (NDVI) e inferir a partir de este, necesidad de

nitrógeno de los cultivos (especialmente de trigo y maíz). Funcionamiento de Greenseeker: El sensor emite una luz led que contiene longitudes de onda roja e infrarrojo (NIR), que reflejada por los cultivos, es capturada nuevamente por el sensor. Con estos datos, se puede calcular el NDVI ( $\text{NIR reflejado} - \text{rojo reflejado} / (\text{Nir reflejado} + \text{rojo reflejado})$ ). Las plantas sanas y vigorosas absorben más luz roja y reflejan más cantidades de luz infrarroja que las plantas enfermas, poco vigorosas o con estrés de nitrógeno. Las diferentes experiencias respecto a la fertilización nitrogenada demuestran que, para lograr los máximos rendimientos, las cantidades de nitrógeno a aplicar varían año tras año. El potencial de rendimiento de los cultivos es muy diferente entre años, dependiendo fundamentalmente de las lluvias. Así también es la oferta de nitrógeno, la mineralización de la materia orgánica varía mucho en función de la temperatura y humedad del suelo. Previo a la estación de crecimiento es muy difícil establecer una dosis correcta de nitrógeno. Es por ello que es importante tener una franja con dosis no limitante de nitrógeno (enriquecida) dentro de cada lote para en medio estación ver si hay diferencia de verdor y desarrollo entre esta franja y el resto del cultivo. Si la hay se refertiliza, si no existen diferencias de NDVI (verdor y vigor) no se realiza. Al Greenseeker se le suma un GPS para generar mapas de índice verde, que básicamente muestran adonde los cultivos muestran estrés nitrogenado para corregirlo (más amarillo, menos índice verde). Estos mapas se pueden cargar en un aplicador variable, para fertilizar con nitrógeno en forma más racional.

### 11. Empresa: G&D Gasparri y Delbuono Estudio de Agronomía

**Web:** [www.estudiogyd.com.ar](http://www.estudiogyd.com.ar) (2018)

Empresa especializada y avocada a brindar soluciones integrales que resuelvan las problemáticas de la gente de campo. Nace como una empresa dedicada a brindar servicios de medición agrícola siendo pionera en el uso de tecnología GPS para tal finalidad. A medida que la empresa creció, y derivado de la demanda necesaria por incorporar conocimiento de otras disciplinas. Todas estas herramientas, servicios y soluciones permiten a la empresa poder realizar variados trabajos, tales como: evaluar potencial de productividad; analizar costos de inversiones versus rentabilidad potencial; evaluar estado y condiciones ambientales de los campos y/o potreros; estudiar cambios producidos por: estudios temporales, causas climatológicas; cuantificar pérdidas; conocer su campo al detalle; gestionar con eficiencia; organizar para poder planificar.

Los servicios que brinda la empresa son: Agronómicos, Agrimensura, Informáticos, Investigación y desarrollo, Capacitación y Asistencia, Agricultura de Precisión, y Fotografía Aérea UAV. Dentro de los servicios con UAV se detallan:

- Modelado 3D
- Determinación de Nutrientes

## **País: Brasil**

### **12. Empresa: Stara**

Web: [www.stara.com.br](http://www.stara.com.br) (2017)

Empresa creada en agosto de 1960, con fuerte vocación tecnológica que se ve evidenciada por la variedad de productos innovadores que lanzan, es una empresa dinámica que se anticipa a las necesidades de los agricultores, generando tecnología enfocada en aumentar la productividad y los beneficios en la actividad. Actúa en todo Brasil, y está presente en los cinco continentes, exportando para más de 35 países. En el año 2000 la empresa incorpora a sus productos los relacionados a Agricultura de Precisión, con el proyecto Aquarius.

Dentro de su gama de productos se pueden encontrar: Pulverizadores, Plantadoras y Sembradoras, Esparcadoras, Tractores, Remolques Agrícolas, Cabezales Maiceros, Escarificador, Palas Agrícolas delanteras, Subsoladores, Niveladores de suelo y productos para Agricultura de Precisión.

Si bien la empresa está enfocada a la Agricultura de Precisión, los servicios que brinda son específicamente de maquinaria.

### 13. Empresa: Plantec

Web: [www.plantecvacaria.com.br](http://www.plantecvacaria.com.br) (2017)

Empresa Brasileira especializada en Agricultura de Precisión que nace en 1997 en Vacaria – RS, actúa en el mercado en la búsqueda de soluciones para el empresario rural con el fin de reducir costos y aumentar la productividad. Es miembro de la Asociación Brasileira de Agricultura de Precisión (ABPSAP). De esta empresa no se encontró más información que la recabada por la página web.

### 14. Empresa: Verion

Web: [www.agriculturaverion.com.br](http://www.agriculturaverion.com.br) (2017)

Empresa que desde 1991 ofrece soluciones integrales en el sector oleohidráulico, contando con una amplia gama de productos para diversos sectores desde la agricultura hasta el sector minero y petrolero. A partir del año 2000, con el avènement de la A P, la empresa ha tomado el reto de desarrollar equipos que permitan la inserción de esta tecnología en el mercado interno. Desarrollaron un controlador para la aplicación variada, y en 2005 implementaron un sistema de orientación (GPS / Barra de Luz) para las diferentes aplicaciones y corte por secciones en pulverizadoras. En 2007 surge por la demanda del mercado, la aplicación de un controlador que además de realizar las funciones básicas de control de la aplicación,

pueda monitorear la aplicación y, además, el sistema debía enviar los datos en tiempo real a la oficina. Al día de hoy la empresa atiende a todo el sector agrícola, desde fabricantes hasta usuarios, ofreciendo soluciones integrales a sus clientes en las principales tareas de la AP, tales como, equipamiento para muestreos georreferenciados, controladores de tasa variable, monitores de semillas, control de pulverización y sistema de gestión de máquinas y actividades. Los equipos VERION entran con el propósito de traer la precisión necesaria para la AP, en diversos niveles y en diferentes usos dentro del ciclo de la agricultura, con soluciones a través de equipos y software que faciliten el análisis georreferenciado de las características agronómicas, la elaboración de mapas e interpretación, el control de la aplicación de la tasa variada de productos, el control y monitoreo de la maquinaria para garantizar precisión en los resultados. Hoy es la empresa con mayor variedad de equipamiento para el sector, y con años de experiencia en el desarrollo, actúa como el principal proveedor de soluciones en AP en América Latina.

La empresa se dedica a elaborar maquinaria y equipamiento para AP, pero no brinda los servicios para realizar el proceso de la AP.

De la información recabada de las empresas citadas anteriormente, se realizó un estudio de los productos que se obtienen y de que forman lo hacen, detallando los resultados en el cuadro 1.

		PRODUCTO					
		Pendiente	Cond. Eléctrica	Textura	M. Orgánica	Relaciones Hídricas	Fertilidad
EMPRESA	ISUSA	Imágenes Satelitales + muestreo en campo	Mapas de cond. eléctrica	Muestreo en campo	Muestreo en campo		Muestreo en campo
	Agroambientes			Muestreo en campo			Imágenes Satelitales
	Daniel Melo	Imágenes Satelitales		Muestreo en campo			
	Unicampo	imágenes Satelitales					Muestreo en campo + Imágenes satelitales
	Agroprecisión	UAV + relevamientos GNSS	Sensor portado en cuatriciclo	Mapas de cond. eléctrica		Sensor a campo	Sensor portado en cuatriciclo
	Agrosat	Relevamientos GNSS	Sensor a campo	Sensor a campo		Sensor a campo	Imágenes Satelitales
	NeoAg	Imágenes Satelitales		Muestreo en campo	Muestro en campo	Muestro en campo	Imágenes Satelitales + Sensor activo en campo
	Molisol		Sensor a campo	Mapas de cond. eléctrica		Mapas de cond. eléctrica	Sensor a campo + Mapas de cond. eléctrica
	G Y D	UAV					UAV
	GeoAgris	Imágenes Satelitales		Muestreo en campo		Sistema de monitoreo en campo	

Cuadro 1: Empresas Vs. Productos (Creación Propia)

---

Del análisis realizado sobre los datos de todas las empresas que se recabó información, resulta que, solamente el 14% utilizan productos generados a partir de UAV, mientras tanto un 57% utilizan información recopilada a partir de imágenes satelitales, siendo su uso mayoritariamente enfocado al cálculo de pendiente y modelos digitales de terreno.

## **CAPITULO 4.**

### **Los UAV en las etapas de la AP**

#### **4.1 - Ventajas Vs. Desventajas en el uso de UAV´s para AP**

Existen diversas ventajas al utilizar este tipo de tecnología, entre ellas se mencionan:

- Fácil reposición en caso de avería o pérdida.
- Rapidez en la toma de imágenes, video y/o levantamiento de datos.
- Aplicación en muchas áreas temáticas, tanto de investigación como de producción.
- Disminución de costos de captura debido a la rapidez con que se obtienen los datos.
- Posibilidad de obtener imágenes según la demanda que implique el trabajo.

Entre las desventajas se han identificado:

- La autonomía de las baterías aún es muy poca (de 20 minutos a 40 minutos en los UAV´s pequeños, de 40 minutos a 2 horas en las versiones más grandes).

- 
- Son vulnerables a fenómenos atmosféricos.
  - Posibilidad de generar accidentes, sobre todo cuando sobrevuelan lugares poblados o cerca de infraestructura tal como puentes, carreteras, edificios altos, aeropuertos, grandes concentraciones de personas como conciertos o eventos públicos.
  - Problema de calidad de imagen: el poco peso que soportan muchos UAV hace que la posición de la cámara sea menos estable, dando como resultado una resolución espacial diferente o distintos ángulos de visión, de una imagen a otra dentro del mismo plan de vuelo; la baja altitud de vuelo puede dar como resultado una grave distorsión geométrica; se pueden generar imágenes borrosas causadas por movimientos hacia delante del UAV

## **4.2 - Utilidad de los productos generados por UAV en las distintas etapas de AP**

En el capítulo dos, se presentaron cuatro etapas de la AP:

- Monitorización,
- Planificación,
- Actuación,
- Evaluación.

Se determinó a partir del presente trabajo que las etapas del proceso de la AP donde se podría dar utilidad a los vuelos con UAV, es en la Monitorización y en la Actuación. Y por otra parte el procesamiento de los productos obtenidos por sensores remotos portados en UAV mediante herramientas geomáticas puede ser útiles en todo el proceso.

Se realizó un estudio de la información recabada de las empresas dedicadas a la AP y/o UAV en Uruguay y en la Región en el Capítulo 3, logrando el cuadro 1. A partir de la información referente a la descripción de cada variable y del cuadro comparativo nombrado anteriormente, se realizó el siguiente cuadro 2, donde figura como pueden ser obtenidas las variables, ya sea a partir de herramientas geomáticas, técnicas de campo, entre otras.

		FORMAS DE OBTENCIÓN				
		IMAGENES SATELITALES	UAV	SENSORES A CAMPO	MUESTRA DE SUELOS	OTROS
VARIABLES	PENDIENTE	X	X			- Relevamientos Topográficos planialtimétricos
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA			X		
	TEXTURA			X	X	- A partir de mapas de Conductividad Eléctrica
	MATERIA ORGANICA				X	
	DRENAJE / BALANCE HIDRICO			X	X	- A partir de mapas de Conductividad Eléctrica
	FERTILIDAD	X	X	X	X	- A partir de mapas de Conductividad Eléctrica
	PEDREGOSIDAD Y ROCOSIDAD	X	X			- A partir de cartas geológicas y CONEAT

Cuadro 2: Variables propuestas en el Capítulo 1 Vs. Forma de obtención de estas (creación propia)

---

Para la Etapa de Monitorización:

De la revisión de algunas de las empresas que se dedican a la AP en Uruguay y la región, nos da un punto de partida de cuáles son las variables necesarias para la primera etapa de la AP que se obtienen mediante sensores portados en UAV. Del cuadro comparativo 2 se detallan que las variables Pendiente, Fertilidad, Pedregosidad y Roccosidad, pueden ser obtenidas mediante técnicas con UAV.

El siguiente paso es determinar si se conocen experiencias de determinación de las variables Conductividad Eléctrica, Drenaje y Balance hídrico, Materia Orgánica y Textura, con herramientas geomáticas.

- Conductividad Eléctrica: Según el trabajo realizado por Joel Rojas Acuña de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Eleazar Manuel Rufasto Campos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, “*Relación de la conductividad eléctrica de los suelos con la reflectancia de imágenes de satélite en la Región de Lambayeque – Perú*” (2008), se concluye que se logró desarrollar una metodología que permitió estimar la salinidad del suelo haciendo uso de la reflectancia de las bandas 1 a 7 del sensor ETM+ transportado por el satélite Landsat-7, dichas reflectancias se correlacionaron bien con los datos de la conductividad eléctrica medidas in-situ, siendo la banda 3, la de mayor correlación con la Cee.

- Drenaje y Balance Hídrico: Según informe publicado en el Boletín de Sociedad Española de la Ciencia del Suelo “*Utilización de la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en la cartografía de suelos*” (1997) de María del Pilar García Rodríguez del Dpto. De Geografía Física y A.G.R. Fac. Geográfica e H. Univ. Complutense de Madrid y Carmen Núñez León de la Escuela Univ. Ingeniería Tenc. Agrícola; “el intervalo de longitud de onda entre 2,08 y 2,35 es muy útil para determinar la humedad del suelo (Baumgardner et al. 1985). En el Thematic Mapper la relación entre las bandas 7 y 5 discrimina los suelos en relación al drenaje; en general, al aumentar la humedad decrecen los valores digitales, por lo que los suelos bien drenados tienen reflectancia alta. Sobre la humedad se puede obtener información, haciendo estudios indirectos de vegetación (incluyendo la medida de índices NDVI de NOAA, Cihlar et al., 1991), relieve, pendiente, riego, agua encharcada, etc. La banda térmica es muy útil al existir una estrecha relación entre humedad y temperatura. Para relacionar estos datos con información de laboratorio conviene incluir la densidad real y aparente, porosidad y permeabilidad. Estas investigaciones son útiles al efectuar estudios sobre suelos gleicos y pseudogleicos y sobre necesidades de agua, especialmente en áreas semiáridas. Para hacer estudios sobre la humedad, al ser un parámetro muy variable, conviene hacer seguimientos multiestacionales y multianuales. También conviene observar sus repercusiones en los horizontes superiores y los patrones de drenaje superficiales”.

- Materia orgánica: Según informe publicado en el Boletín de Sociedad Española de la Ciencia del Suelo “*Utilización de la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en la cartografía de suelos*” (1997) de María del Pilar García Rodríguez del Dpto. De Geografía Física y A.G.R. Fac. Geográfica e H. Univ. Complutense de Madrid y Carmen Núñez León de la Escuela Univ. Ingeniería Tenc. Agrícola; En general, cuanto más elevado es el contenido en materia orgánica, más bajos son los valores digitales, pero interviene también su grado de descomposición: la reflectancia disminuye al aumentar ésta. Las diferencias en el contenido de materia orgánica se observan mejor en las bandas visibles y en el infrarrojo próximo, especialmente en el intervalo 0,79-0,90 micrómetros (Stoner et al. 1980 b). También, según estudios efectuados por las autoras, es buena relación entre las bandas 5 y 4 del TM, o la obtención de componentes principales. Se puede establecer una relación indirecta que hay que tener en cuenta a la hora de analizar los valores espectrales: el contenido de materia orgánica afecta, sobre todo, a color, capacidad de color, contenido de agua, intercambio catiónico, estructura y erosionabilidad. Para discriminarla de la humedad se utiliza el infrarrojo térmico: el agua tiene una alta emisividad, por lo que en los suelos afectados por hidromorfismo se modifica considerablemente ese valor en la banda térmica. Considerando estos aspectos, los datos de laboratorio que se deben integrar en el SIG son: contenido total de carbono, relación carbono/nitrógeno y fraccionamiento de la materia orgánica.

- Textura: Según informe publicado en el Boletín de Sociedad Española de la Ciencia del Suelo “*Utilización de la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica en la cartografía de suelos*” (1997) de María del Pilar García Rodríguez del Dpto. De Geografía Física y A.G.R. Fac. Geográfica e H. Univ. Complutense de Madrid y Carmen Núñez León de la Escuela Univ. Ingeniería Tenc. Agrícola; la Textura es una de las propiedades físicas que más incidencia tiene en la reflectancia, aunque su análisis es complejo, ya que, además del tamaño de las partículas y de las relaciones entre ellas, influye la rugosidad, agregados, contenido de humedad, esfericidad, redondez, etc. Montgomery y Baumgardner (1974) señalaron que el contenido en limo es el parámetro más significativo para explicar variaciones en las propiedades espectrales de suelos, ya que ofrecen superficies lisas, con una alta reflexión. En general, los suelos arcillosos tienen valores digitales más bajos que los arenosos. Para discriminar texturas son buenas las bandas del infrarrojo próximo y medio, especialmente las comprendidas entre longitudes de onda de 0,73-0,46, 0,88-0,90, 2,07-2,09 y 2,16-2,19 micrómetros (Stoner et al. 1980). También se pueden establecer índices de brillo que relacionen estas bandas espectrales.

---

Para la Etapa de Actuación:

A continuación, se analizan que tareas de la etapa de Actuación se pueden llevar adelante utilizando productos generados a partir de sensores portados en UAV. Para ello se detallan las diferentes subetapas que se llevan adelante en la actuación, especificando en las que es posible usar UAV.

Sub-Etapas de la Actuación:

1 – Siembra

2 – Etapa vegetativa

- Control de malezas
- Control de crecimiento del cultivo
- Control de plagas y enfermedades

3 – Etapa Reproductiva

3.1 – Floración

- Control de crecimiento del cultivo
- Control de plagas y enfermedades

3.2 – Llenado de Granos

- Control de crecimiento del cultivo
- Control de plagas y enfermedades

4 – Cosecha

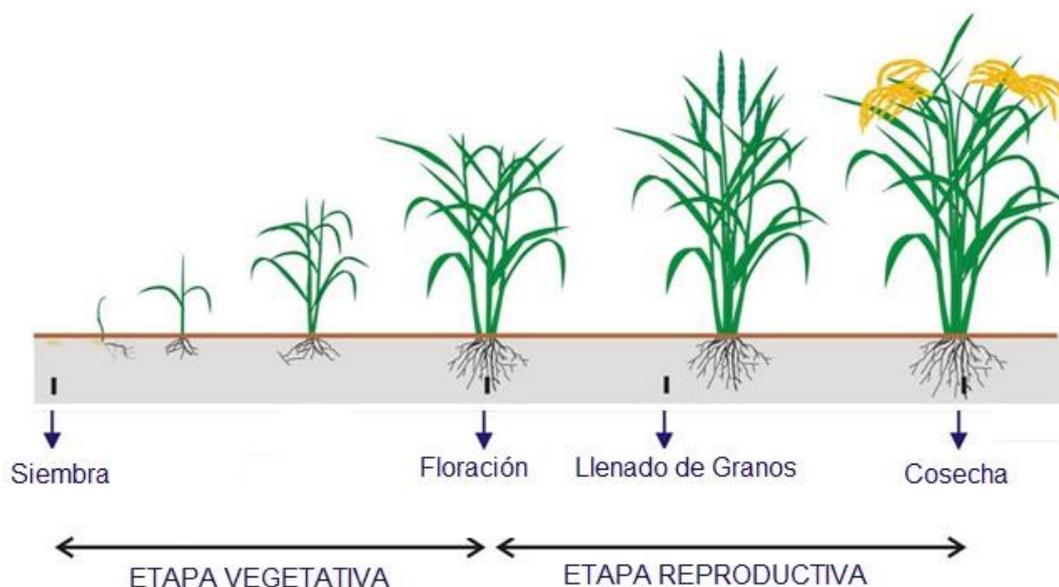


Imagen 13: Etapas del cultivo (creación propia)

- Uso de UAV para el control de malezas:

Para la determinación de malezas, se recomienda hacerlo a principio de la etapa vegetativa, ya que es cuando el cultivo necesita crecer, y no competir con una maleza en general de mayor tamaño y capacidad de alimentarse. En el trabajo “Detección de malas hierbas en girasol en fase temprana mediante imágenes tomadas con un vehículo aéreo no tripulado (UAV)” (2014), realizado por Peña, J.M.; Torres-Sánchez, J; Serrano-Pérez, A; López-Granados, F. del Departamento de Protección de Cultivos, Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC, Córdoba, España, se

determina la existencia de malezas teniendo en cuenta la forma en que se realizó la siembra, en filas paralelas a determinada distancia y como debe crecer el cultivo.

El mencionado trabajo comenzó su estudio con sensores portados en aviones convencionales, luego con imágenes de satélites y en el presente incorporaron el uso de sensores portados en UAV's. Para la determinación de malezas trabajan con el espectro visible y el infrarrojo cercano. En cambio, si se desea realizar la discriminación en fase temprana se requieren imágenes remotas de muy elevada resolución espacial (pixel < 5cm), tales imágenes se consiguen solamente mediante sensores en UAV, la justificación de la elevada resolución espacial es que las imágenes de baja resolución espectral imposibilitan la discriminación entre el cultivo y las plántulas de malezas, ya que en esa fase son muy pequeñas y tienen similar aspecto y comportamiento espectral.

El UAV utilizado fue cuadricóptero MD4-1000 (microdrones GmbH, Siegen, Alemania), realiza un despegue y aterrizaje vertical, capacidad de carga: hasta 1,25 kg, autonomía de vuelo 45 minutos aprox.; en la captura de cada imagen se registra posición GPS, altura y hora; Cámara utilizada modelo Olympus PEN E-PM1 (Olympus Corporation, Tokio, Japón), toma imágenes con un sensor de 12 megapíxeles en color verdadero, compuesto por canales rojo, verde y azul (RGB) y con unas dimensiones de 4032x3024 píxeles.

De dicho trabajo se concluyó que la eficiencia del método disminuyó a medida que se aumentó la altura de vuelo, y el mejor resultado logrado fue dado con los vuelos a 40 metros de altura, obteniendo un 71% de exactitud en zonas con presencia de malezas.

Este trabajo si bien se realizó sobre un cultivo específico, los cultivos anuales que se realizan en el País tienen la misma característica en cuanto a la siembra en líneas paralelas a determinada distancia, por tanto, se estima que podría ser de utilidad en nuestro País.

- Uso de UAV para el control de crecimiento del cultivo y de plagas y enfermedades:

Este control es conveniente hacerlo al principio de la etapa vegetativa, y en la Floración y Llenado de granos de la Etapa Reproductiva, ya que son las etapas claves para el desarrollo de la planta. Dependiendo del cultivo, y del clima, la planta en estas etapas deberá tener ciertas características, como cantidad de hojas, tamaño y forma de la hoja, altura, verdor, entre otros específicos del cultivo y de la etapa.

Se investigó y buscó bibliografía que analizara y diera respuesta a estos problemas. En el trabajo “Incorporación de imágenes aéreas en el manejo del cultivo del maíz” (2011) realizado por C. Portero, M. Mercadal,

P. Salas<sup>10</sup>, se buscó determinar las aplicaciones de teledetección en el cultivo de maíz, dando como resultado que el uso de las imágenes aéreas en los cultivos de maíz resultan adecuadas para una gestión más sostenible de este cultivo. Dentro de los factores estudiados por los autores, se detalla que *“la obtención de parámetros biofísicos a partir de información proveniente de sensores remotos permitirá dar seguimiento a la dinámica espaciotemporal de la vegetación de manera eficiente y económica (Calera et al., 2004)”*. En el citado trabajo se toma como uno de los principales métodos geomáticos para la estimación de variables biofísicas los índices de vegetación. *“El uso de los índices de vegetación presenta algunos inconvenientes dado que, hasta la fecha, ninguno de ellos ha conseguido eliminar completamente las influencias no deseadas (Gao y Lesht, 1997; Baret y Guyot, 1991). Además, su uso no permite estimar más de una variable al mismo tiempo, la cual ha de ser específicamente calibrada mediante una ecuación empírica cuya forma matemática y coeficientes son particulares para cada estimación (Qi et al., 2000)”*. Del informe se concluye que el uso de los índices de vegetación para estimar variables biofísicas no resulta evidente.

El estudio realizado por Portero, Mercadal y Salas, arroja que existen otras investigaciones donde se lograron buenos resultados entre índices de vegetación calculados en imágenes aéreas y parámetros biofísicos, *“...como son la producción de biomasa (Geipel et al. 2014), la*

---

<sup>10</sup> SONEA Ingeniería y Medio Ambiente, Parque Tecnológico WALQA, Universidad de Zaragoza.

*evapotranspiración (Chávez et al., 2009; proyecto AG\_UAS, 2014), el índice de área foliar (Haboudanea et al., 2004; Duan et al., 2014), la fracción de cobertura (Ballesteros et al., 2014), así como otros parámetros obtenidos a partir de las reflectividades de la cubierta como es la temperatura superficial (Canelón y Chávez, 2011), entre otros”.*

También surge del informe de Portero y otros, una investigación del estudio realizado por Queimada et al (2014), donde se realizó un vuelo a 300 metros de altura con un sensor hiperespectral y uno térmico, comparando la información con la obtenida con clorofilómetros de campo, dando como resultado que los índices de verdor como el NDVI, no son los mejores para la identificación de las deficiencias de nitrógeno, y resaltando que se necesita más investigación para tener en cuenta otras fuentes de variabilidad que pueden interferir en la identificación del estado nutricional nitrogenado de determinada chacra.

Según el informe “Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn” de Miao, Y., Mulla, D.J., Randall, G.W., Vetsch, J.A., Vintila, R. (2009), la combinación de lecturas del clorofilómetro con imágenes de alta resolución multiespectral o hiperespectral, puede superar las limitaciones del uso de ellos individualmente, ofreciendo así una solución práctica a la detección de deficiencia de nitrógeno en grandes parcelas de maíz.

En el trabajo realizado para su tesis doctoral Jiménez-Berni, J.A.

(2009) “Determinación del estado hídrico de la vegetación mediante teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados” de la Universidad de Córdoba, utilizó imágenes obtenidas por un sensor a bordo de un UAV para calcular índices de vegetación, y relacionarlos con parámetros biofísicos, dando como resultado que las estimaciones en maíz de contenido de clorofila o las relaciones de temperatura, muestran resultados similares, o superiores, a los obtenidos con sensores a bordo de avionetas.

El control de crecimiento de cultivo puede tomarse como una referencia para obtener una estimación de la producción del cultivo antes de la cosecha, según Shanahan, J. y otros (2001) en el trabajo “Use of Remote-Sensing Imagery to Estimate Corn Grain Yield”, se realizó un ensayo en una chacra experimental de maíz con tratamientos diferenciados de nitrógeno con el fin de obtener resultados diferentes en la cosecha, para el trabajo se voló con avión que portaba un sensor multiespectral a 1000 metros de altura, recogiendo información en las bandas RGB y NIR. Se utilizó para calcular tres índices de vegetación, NDVI, GNDVI y TSAVI, los cuales fueron relacionados con los datos de producción al final de la cosecha. El índice que reflejó mejores resultados fue el GNDVI en la etapa Reproductiva de llenado de granos.

En forma similar, y avalando la propuesta del presente proyecto, el INTA en el 2014 a través de sus investigadores Melchiori, Kemerer y Albarenque, realizó el trabajo “Uso de un UAV para el diagnóstico del estado de nutrición nitrogenada en maíz”, donde se trabajó con información de historiales de chacras de parcelas experimentales en conjunto con

imágenes provenientes de sensores portados en UAV, donde se consiguió caracterizar las variaciones de producción y la respuesta esperable en los cultivos a partir del NDVI.

De los informes recabados y estudiados para el presente proyecto, no se han detectado investigaciones que afirmen de manera contundente la no posibilidad del uso de productos obtenidos mediante sensores portados en UAV para las diferentes etapas de la AP. Si bien en la gran mayoría de los trabajos presentados cuentan con apoyo de campo simultáneo al vuelo de UAV como base para determinar las diferentes variables, se podrían utilizar en lugar de datos de campo relevados en el momento, historiales de chacra y/o datos ya recabados en otros periodos productivos que sean de similares características climáticas. Se entiende que una gran herramienta para lograr la combinación de datos de historiales de chacras y datos generados para la producción a realizar es un SIG.

### 4.3 – Metodología Propuesta

Del trabajo realizado, se concluye que existen dos etapas de la AP donde se logra que las actividades productivas se realicen de forma más eficiente con productos generados a partir de sensores portados en UAV, que son la Monitorización y la Actuación. En este capítulo se presenta una metodología de trabajo para todas las etapas de AP, complementando a los productos de los UAV con otras herramientas geomáticas.

#### ETAPA 1: MONITORIZACIÓN

En la monitorización, es donde se deben obtener todos los datos necesarios respecto al suelo y al cultivo. Respecto a los datos del suelo, se representan en el siguiente cuadro las variables necesarias que fueron determinadas en los capítulos anteriores y las herramientas geomáticas que se pueden utilizar.

	PENDIENTE	COND. ELECTRICA	TEXTURA	MATERIA ORGANICA	FERTILIDAD	PEDREGOSIDAD Y ROCOSIDAD
IMAGENES SATELITALES	<b>X</b>	CON APOYO EN CAMPO	CON APOYO EN CAMPO	CON APOYO EN CAMPO	<b>X</b>	<b>X</b>
UAV	<b>X</b>	CON APOYO EN CAMPO	CON APOYO EN CAMPO	CON APOYO EN CAMPO	<b>X</b>	<b>X</b>

Cuadro 3: Variables y modo de obtenerlas con herramientas geomáticas.

## ETAPA 2: PLANIFICACIÓN

Esta etapa como se definió anteriormente, es la fase de toma de decisiones, es donde se determina que insumos aplicar en el suelo, cómo, cuándo y dónde. Para poder lograrlo, se toman los datos obtenidos en la monitorización, y si existieren, datos de historiales de chacras, mapas de rendimiento de cosechas anteriores, etc., estos datos se cargan en un SIG, que será la base para que el profesional experto en la temática realice el estudio y tome las decisiones respecto al trabajo a realizar.

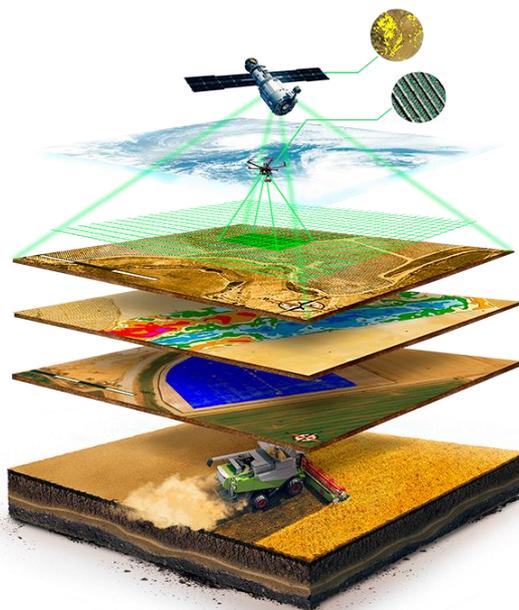


Imagen 14: Incorporación de tecnologías en un SIG (Fuente: [www.hemav.com](http://www.hemav.com))

### ETAPA 3: ACTUACIÓN

La etapa de Actuación es donde se debe hacer lo que se decidió en la etapa anterior. A esta etapa la podemos dividir en 4 subetapas, en las cuales se detalla qué herramienta geomática puede utilizarse.

#### 1 – *Siembra*: Sistemas de Aplicación Variable.

Con los Sistemas de Aplicación Variable tal como fueron descritos en el Capítulo 1, se busca utilizar los insumos de manera racional, por tanto, se toman datos depurados del SIG elaborado en la etapa de Planificación, los cuales se cargan en el equipo de la maquinaria.

2 – *Etapa vegetativa*: Control de malezas, Control de crecimiento del cultivo y Control de plagas y enfermedades.

#### 3 – *Etapa Reproductiva*

3.1 – *Floración*: Control de crecimiento del cultivo y Control de plagas y enfermedades

3.2 – *Llenado de Granos*: Control de crecimiento del cultivo y Control de plagas y enfermedades

Para estas dos etapas, vegetativa y reproductiva, donde el trabajo a realizar mediante herramientas geomáticas son los controles tanto de malezas, crecimiento y de plagas y enfermedades, se realizó el estudio en el capítulo anterior, y se concluye que es posible el uso de los UAV para lograrlos,

necesitando en casi todos los casos un apoyo de información recabada en campo, ya sea simultáneamente con el vuelo, o teniendo información de historial de la chacra, para determinar cómo debe responder el cultivo en esas condiciones.

#### 4 – *Cosecha*: Monitores de rendimiento

Los monitores de rendimiento son monitores colocados en las cosechadoras, que mediante sensores remotos calculan el rendimiento y la humedad del grano a medida que se va realizando la cosecha del cultivo. A partir de los datos obtenidos por el sensor del monitor de rendimiento y un equipo GNSS portado en la cosechadora, se logran los mapas de rendimiento.

#### ETAPA 4: EVALUACIÓN

La última etapa del proceso es la de evaluar todas las operaciones realizadas del proyecto realizado, por tanto, es donde se deberá juntar toda la información obtenida en las etapas anteriores en un SIG. Estos datos obtenidos y recogidos en un SIG sirven para terminar el ciclo y determinar la rentabilidad, así como para dar comienzo a uno nuevo, dejando un historial de campo para el siguiente proceso.

## CONCLUSIONES

La pregunta central de este trabajo es ¿se logrará a partir de productos obtenidos mediante sensores portados en UAV obtener todos los datos necesarios para mejorar el proceso de Agricultura de Precisión?

Se concluye del estudio realizado en el presente trabajo que es posible seguir optimizando el proceso de la AP, usando de forma más eficiente las herramientas que existen, y logrando una buena combinación de tecnologías que generen nuevas formas de trabajo.

Hoy en nuestro país, la principal forma de trabajar en AP y en la cual los técnicos involucrados se sienten más cómodos y seguros son las técnicas de campo. Para el Agricultor no hay fórmulas mágicas, ellos ya conocen su chacra y la complejidad del trabajo, por eso incorporar las herramientas geomáticas no es tarea sencilla. Para ellos la principal utilidad que le da los UAV a la agricultura hoy, es la de facilitarles la capacidad de observar su explotación desde el aire, simplemente con un sensor RGB, obteniendo así, una perspectiva de su producción que les permita detectar las incidencias en cada etapa de su cultivo.

De todas formas, la tecnología que brindan las herramientas geomáticas van haciéndose un lugar y cada vez se las acepta con más confianza, resta aún un largo camino por recorrer. A partir del estudio realizado resulta que, a la fecha, el uso de los UAV en AP en la región no está aprovechado en toda su potencialidad, tal como se presentó en el Capítulo 3. Solo el 57%

de las empresas estudiadas usan esta tecnología y no en su máxima expresión.

La región cuenta con la tecnología necesaria para obtener el máximo rendimiento de los UAV, pero estarían faltando técnicos capacitados en geomática con conocimientos en agricultura que puedan llevar a cabo este tipo de trabajo. En este sentido contar con personal técnico capacitado para el uso de estas herramientas es crítico para todo el proceso de AP, ya que uno de los obstáculos al realizar este trabajo, fue la falta de referentes, de profesionales con dominio de herramientas geomáticas enfocadas en el agro.

En todo el proceso de la AP se pone en juego mucha información, la cual utilizada de forma eficiente puede ser muy útil para el comienzo de un nuevo ciclo de trabajo. De la metodología propuesta en el Capítulo 4, se concluye que existen herramientas geomáticas en el País para lograr resultados más sustentables y en menos tiempo en todo el proceso de la AP. Una herramienta fundamental que utilizar en dicho proceso son los Sistemas de Información Geográficos, ya que facilitan el almacenamiento y procesamiento de la información obtenida en todo el ciclo de la AP, como también permite incorporar datos existentes a nivel País (como CONEAT, DINAMIGE, MTOP, DNC, entre otros) y datos propios de la zona estudiada (como historiales de chacra y mapas de rendimiento de las cosechas anteriores).

De la metodología propuesta surge que se puede completar la etapa

de monitorización de la AP con herramientas geomáticas. Esto se sustenta, no solo, a partir de que existen dos de las variables consideradas en el Capítulo 1, Pendiente y Fertilidad, que ya son obtenidas mediante el procesamiento de productos obtenidos por sensores portados en UAV. Si no también de se encontró vasta bibliografía de las demás variables que demuestra la aplicación de herramientas geomáticas para su generación. Si bien son estudios específicos, estos abren posibles líneas de investigaciones futuras para desarrollar nuevos análisis geomáticos con estudios de campo para hacerlas aplicables en nuestra región.

Se propone como posible investigación, realizar estudios comparativos de chacras ya conocidas que cuenten con historiales y mapas de rendimiento, realizar en ellas relevamientos con UAV en las condiciones más similares a las que se generó la información ya conocida, y sabiendo de antemano las características de cada zona, estudiar qué respuesta se obtiene a partir del relevamiento con diferentes sensores en cada zona y apoyar con estudio de campo, con el objetivo de definir una respuesta para esa característica.

En el caso de la conductividad eléctrica, esta varía con la relación de agua en el suelo, por tanto, la información generada para el proceso de AP para un cultivo no va a ser útil para el siguiente cultivo, es información que se deberá volver a generar en todo nuevo comienzo del proceso, ya que en nuestro País el clima y las lluvias son muy variables de un año a otro.

Un ejemplo claro de la posible incorporación de estas herramientas es el

uso del NDVI para determinar la Fertilidad, ya que en forma similar se podrían crear otros índices que estimen otras variables, como podría ser el caso de la conductividad eléctrica.

Otra de las limitantes existentes, es la falta de conocimiento por algunas empresas de la potencialidad del uso de los SIG. Se recomienda dar más divulgación de las utilidades de los SIG tanto en la etapa de Planificación como de Evaluación.

En cuanto a la etapa de Actuación, se presentó en la metodología propuesta que en las subetapas siembra y cosecha ya se utilizan herramientas geomáticas, las técnicas de VRA y los monitores de rendimiento respectivamente. En las demás subetapas se proponen controles, tanto de malezas, como de crecimiento y plagas, y se entiende que al utilizar imágenes procedentes de UAV se podría lograr un píxel pequeño que permita determinar las características propias de la planta, y así poder estimar si existe un problema. El cual deberá ser estudiado por el profesional correspondiente responsable del cultivo y complementado con las experiencias en el tema recabadas en el Capítulo 4.

Al conocer las experiencias existentes en las que se han utilizados imágenes procedentes de sensores portados en UAV en la AP y sabiendo en que momentos resulta adecuado utilizarlo, el próximo paso será definir que plataforma se utilizará. La que dependerá de la superficie a cartografiar, las resoluciones requeridas y los tipos de sensores necesarios según el cultivo a realizar. Todas estas decisiones vendrán de la mano de los costos

económicos que resulten de la tecnología necesaria, resultado que será estimado por el responsable de la chacra, ya que la Agricultura de Precisión además de buscar un proceso sostenible, redundará en resultados económicos.

Se espera que a futuro el uso de los UAV en agricultura, tanto de precisión como en la convencional, sea una herramienta más para el agricultor como lo es ahora la maquinaria agrícola. Ya que se entiende que, aprovechando al máximo la información que brindan los productos obtenidos mediante sensores portados en UAV's y contando con técnicos formados en la temática, se lograrían muy buenos resultados al incorporar y procesar la información en una base de datos geográfica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, J. R., & Campos, E. M. R. (2011). *Relación de la conductividad eléctrica de los suelos con la reflectancia de imágenes de satélite en la región de Lambayeque-Perú*. Revista de Investigación de Física.
- Barroso, F. R., (2017). *Imágenes aéreas de muy alta resolución para la caracterización del maíz (Zea mays L.) de regadío en una zona semiárida*.
- Basso, B., Fiorentino, C., Cammarano, D., & Schulthess, U. (2016). *Variable rate nitrogen fertilizer response in wheat using remote sensing. Precision agriculture*.
- Bernardi, A. D. C., Naime, J. D. M., Resende, A. D., Inamasu, R. Y., & Bassoi, L. (2014). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E).
- Berni, J. A. J. (2009). *Determinación del estado hídrico de la vegetación mediante teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados*. Universidad de Córdoba.
- Berrio, V. A., Mosquera, J. & Alzate, D. F., (2015). *Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión*. Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.
- Bragachini, M., Méndez, A. & Vélez, J. P., (2011). *Argentina, un referente mundial en tecnología de Agricultura de Precisión*. INTA
- Bragachini, M., Von Martini, A. & Méndez, A. (2000). *Tecnología Disponible para Aplicaciones de Insumos Sitio Específico*. Proyecto Agricultura de Precisión

INTA Manfredi.

- Bragachini, M., Méndez, A., & Scaramuzza, F., (2003). *Monitor de Rendimiento y Conocimientos de Calibración*. Proyecto Agricultura de Precisión–INTA, Manfredi, Córdoba, Argentina.
- Bragachini, M., Méndez, A. & Scaramuzza F., (2004). *Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS y una prescripción con sembradora IOM inteligente Mega de 12 surcos a 52,5 cm*. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi.
- Caballero, D. A., (2017). *Aplicación de imágenes NDVI para el control de riego y enfermedad en cultivos Agrícolas mediante el uso de aeronaves no tripuladas y el software AgVault*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Caldentey Aventín, P. (2017). *Utilización de sensores multiespectrales e hiperespectrales embarcados en RPAS con el objetivo de dosificar abonos en cultivos*. Universitat Politècnica de Catalunya
- Calvo, C., Herranz, F. & Calvo, P., (2014). *De los UAV a los RPAS*. Perfiles IDS.
- Canelón, D. J., & Chávez, J. L. (2011). *Soil heat flux modeling using artificial neural networks and multispectral airborne remote sensing imagery*. Remote.
- Castaño, J. P., (2008). *Agricultura de precisión*. Revista INIA, Suplemento Tecnológico.

- Castro, A. I. D. (2013). *Discrimination of weed infestations cruciferous winter annual crops using high spatial resolution images using methods based on pixels, objects and neural networks for precision control.*
- Cerri, D. G. P. & Graziano, P. S. (2003). *La Aplicación de la Agricultura de Precisión en Cultivos de Caña de Azúcar en Brasil.* Facultad de Ingeniería Agrícola UNICAMP Brasil.
- Chartuni, E., de Assis, F., Marcal, D. & Ruíz, E., (2007). *Agricultura de Precisión: Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria.* Revista COMUNIICA.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial.* Madrid: Ediciones Rialp.
- Chuvieco, E. (2006). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio.*
- Corró Molas, A., & Ghironi, E. (2012). *Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida pampeana.* Publicación técnica.
- Díaz, J. J. & José, J., (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.*
- Fajardo, J. C., (2014). *Apoyo a la agricultura de precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde vehículos aéreos no tripulados (UAV´ s).* Facultad de Ingeniería.
- García, C. E. & Herrera, F. A., (2015). *Percepción remota en cultivos de*

*caña de azúcar usando una cámara multiespectral en vehículos aéreos no tripulados.* Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.

- García, C. E., Herrera, F. A. & Mesa, E. E., (2015). *Usando vehículos aéreos no tripulados para la agricultura de precisión en caña de azúcar.* Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
- García Rodríguez, M. P., & Muñoz León, C. (1997). *Utilización de la teledetección y Sistemas de Información Geográfica en la Cartografía de suelos.* Boletín de la Sociedad española de la Ciencia del Suelo 1997.
- Giménez, A., & García Lamothe, A. (1998). *Agricultura de precisión: zona con deficiencia de zinc en un cultivo de maíz bajo riego.* INIA Documentos on-line; 115
- González, A. R. & Otálora, P. C., (2017). *Uso de sensores remotos y tecnología de vehículos aéreos no tripulados para apoyar la identificación de la salinización del suelo en San Miguel de Sema, Boyacá, Colombia.* Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingenierías
- Kemerer, A., (2011). *Procedimientos para la delimitación de zonas de manejo mediante imágenes satelitales.* Red Agricultura de Precisión INTA
- López-Granados, F. (2013). *Uso de Vehículos Aéreos no tripulados (UAV) para la evaluación de la producción agraria.* Revista Ambienta.
- Martín, M. P., Barreto, L. & Fernández-Quintanilla, C., (2005). *Teledetección y agricultura de precisión: un ejemplo de aplicación a la cartografía de malas hierbas en cultivos de cereal.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

- Martínez, R. & Becerra, J., (2014). *Diagnóstico del grado de adopción y potencialidad del manejo por ambientes y la siembra y fertilización variable en Uruguay.*
- Martínez-Vega, J., Martín, M. P., Díaz, J. M., López, J. M., & Muñoz, F. J. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente.*
- McKean, S. J. (1983). *Manual de análisis de suelo y tejido vegetal.* Laboratorio de Servicios Analíticos CIAT.
- Melchiori, R. J. M., Barbagelata, P. A., Christiansen, C. & Von Martini, A., (2002). *Manejo sitio específico de nitrógeno en maíz: evaluación del N-Sensor.* INTA.
- Melchiori, R. J. M., Kemerer, A. C., & Albarenque, S. M. (2012). *Uso de un UAV para el diagnóstico del estado de nutrición nitrogenada en maíz.* EAA INTA Paraná.
- Mendéz, A., Scaramuzza, F., Veléz, J. P. & Villaroel, D., (2010). *Manejo de cultivos por ambientes, evolución de dosificación variable en Argentina.* INTA.
- Miao, Y., Mulla, D. J., Randall, G. W., Vetsch, J. A., & Vintila, R. (2009). *Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn.*
- Mitsikostas, E. (2017). *Monitorización y optimación de tierras con drones y fotogrametría aérea para aplicaciones de precisión en agricultura.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, Universitat Politècnica de Valencia.

- Orradre, M. N., (2011). *Métodos de clasificación digital de imágenes satelitales para la determinación de usos de suelo agrícola en el partido de Tandil*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., & López-Granados, F. (2014). *Detección de malas hierbas en girasol en fase temprana mediante imágenes tomadas con un vehículo aéreo no tripulado (UAV)*. Revista de Teledetección
- Portero, C., Mercadal, M., & Salas, P. (2011) *Incorporación de imágenes aéreas en el manejo del cultivo del maíz*.
- Portero, C., Salas, P., Mercadal, M. & Casterad, M. A., (2017). *Experiencias en la adquisición de imágenes para agricultura a empresas de drones españolas*. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
- Ribeiro, K., (2017). *Avances metodológicos para el empleo de vehículos aéreos no tripulados en agricultura de precisión*.
- Rivera, A. F. G., & Clavijo, F. V. (2016). *Agricultura De Precisión Y Sensores Multiespectrales Aerotransportados*.
- Rivera, R., Vargas, E., Terrazas, F. & Gavi, F., (2003). *Utilización de imágenes de satélite para determinar áreas con problemas de lixiviación de nitratos*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
- Rocha de Moraes, C. A. & Penha, B., (2015). *Agricultura de Precisión en Brasil*. VII Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica, Univerisdad Estadual do Maranhão.

- Roman-Gonzalez, A., & Vargas-Cuentas, N. I. (2013). *Análisis de imágenes hiperespectrales*. Revista Ingeniería & Desarrollo,
- Ruíz, L. A., Estornell, J. & Erena, M., (2017). *Teledetección, Nuevas plataformas y sensores aplicados a la gestión del agua, la agricultura y el medio ambiente*. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.
- Shanahan, J. F., Schepers, J. S., Francis, D. D., Varvel, G. E., Wilhelm, W. W., Tringe, J. M., ... & Major, D. J. (2001). *Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield*. Agronomy Journal.
- Torres-Sánchez, J., Peña Barragán, J. M., & López Granados, F. (2013). *Uso de imágenes procedentes de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para cartografía de objetivos agronómicos*.
- Vega, J. A., & Ruiz, M. P. (2013). *Agricultura de precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria*. Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente.
- (2017), *La Agricultura de precisión, una manera de pensar*. Jornada de Actualización de drones, Copaipa, Salta, Argentina.
- (2014), *Manual de Agricultura de Precisión*. PROCISUR, IICA.
- (2009), *Alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. [www.odepa.gob.cl](http://www.odepa.gob.cl)
- (2017), [www.elespectador.com.uy](http://www.elespectador.com.uy)

- 
- (2018), [www.okara.com.uy](http://www.okara.com.uy)
  - (2018), [www.tardaguila.com.uy](http://www.tardaguila.com.uy)
  - (2018), [www.rapideye.de](http://www.rapideye.de)
  - (2017), [www.sensefly.com](http://www.sensefly.com)
  - (2018), [www.fcien.edu.uy](http://www.fcien.edu.uy)
  - (2018), [www.fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy)

## GLOSARIO

- NDVI: Índice diferencial de vegetación normalizado, es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor.
- GNDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde, es un índice del “verdor” de la planta o actividad fotosintética
- SAVI: Índice de vegetación ajustado al suelo, permite ignorar la reflectividad del suelo, basándose solo en la actividad vegetal.
- Clorofilometro: Equipo que determina con precisión el contenido de clorofila en las plantas y cultivos
- Pulverizadora: maquinaria agrícola usada para esparcir un compuesto que puede ser natural como el agua, o químico como herbicidas o plaguicidas, expulsándolo mezclado con aire en forma de gotas muy finas con una aplicación fitosanitaria.
- Mapa de rendimiento: se obtiene cuando al monitor de rendimiento se le adiciona un GPS, y se obtienen datos de rendimiento georreferenciados.
- Banderillero Satelital: *“El funcionamiento de los banderilleros satelitales se basa en el Sistema de Posicionamiento Global GPS, mediante el cual la maquinaria de aplicación de productos químicos o fertilizantes está ubicada en tiempo real en un lugar del espacio constantemente.”* Ing. Agr. Andrés Méndez, Ing. Agr. MSc Mario Bragachini, Ing. Agr. Fernando Scaramuzza, INTA Manfredi.